

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

_____ О.І. Ролік

“ ____ ” _____ 2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6.050103 «Програмна інженерія»
на тему: «Автоматизована система управління лінією
виробництва паливних гранул»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІТ-41

Красіков Михайло Олексійович

Керівник:

ст. в. кафедри АУТС

Яланецький Валерій Анатолійович

Рецензент:

доц. кафедри ТК, к.т.н., доцент

Лисовиченко Олег Іванович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Номер строки	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. листів	Номер екзем.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3			<u>Альбом 1</u>			
4						
5	A4		Завдання	2		
6	A4		Анотація на українській	1		
7			російській і англійській мові			
8	A4	IT41.150БАК.006 ТЗ	Технічне завдання	3		
9	A4	IT41.150БАК.006 ТП	Відомість технічного проекту	2		
10	A4	IT41.150БАК.006 ПЗ	Пояснювальна записка	73		
11	A4	IT41.150БАК.006	Специфікація	2		
12	A4	IT41.150БАК.006 ПЭЗ	Перелік елементів	1		
13						
14			<u>Альбом 2</u>			
15						
16	A3	IT41.150БАК.006 Э1	Автоматизована система	1		
17			управління виробництвом гранул			
18			Схема електрична структурна			
19	A3	IT41.150БАК.006 Э2	Підсистема управління	1		
20			процесом сушіння			
21			Схема електрична функціональна			
22	A3	IT41.150БАК.006 Э2.1	Підсистема управління	1		
23			процесом сушіння			
24			Функціональна схема автоматизації			
25	A3	IT41.150БАК.006 Э2.2	Підсистеми управління	1		
26			процесом гранулювання			
27			та затарювання			
28			Схема електрична функціональна			
			IT41.150БАК.006 ОП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<div> <div>Автоматизована система управління лінією виробництва паливних гранул.</div> <div>Опис</div> </div>	
Розроб.						
Перевір.						
Реценз.						
Н. Контр.						
Затверд.						
					Літ.	Аркуш
						Аркушів
					1	2
					НТУУ «КПІ» ФІОТ	
					група IT-41	
					Т	

Номер строки	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. листів	Номер екзем.	Примітка
1	A3	IT41.150БАК.006 Д2	Підсистеми управління	1		
2			Процесом сушіння			
3			Модель автоматичної підсистеми			
4			управління сушінням			
5	A3	IT41.150БАК.006 Э3	Блок керування підсистемою	1		
6			управління процесом			
7			сушіння			
8			Схема електрична принципова			
9	A3	IT41.150БАК.006 СБ	Блок керування підсистемою	1		
10			управління процесом			
11			сушіння			
12			Складальний кресленик			
13						
14			<u>Документація по деталях</u>			
15						
16	A3	IT41.150БАК.006	Плата друкована	1		
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						

29						
30						
31						
31						

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра автоматики та управління в технічних системах

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»
Спеціальність 6.050103 — Програмна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2017 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Красікову Михайлу Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Назва теми Автоматизована система управління лінією виробництва паливних гранул.

керівник проекту _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 20__ року №

2. Строк подання студентом проекту _.

3. Вихідні дані до проекту Допустима вологість поступаючої сировини 10-13%. Допустима фракція первино-подрібненої сировини до 4мм. Максимальна виробнича здатність до 600кг/год.. Потрібна потужність 100 кВт.

—
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Призначення та галузь застосування розробки, її технічні характеристики. Розробка структурної, функціональної, принципової, ФСА схем, графіків роботи системи, алгоритму роботи, друкованої плати, складального креслення, опис основних вузлів та елементів вищезазначених схем. Розрахунки, що пов'язані з розробкою регулятора температури в сушильній колонці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема структурна. Схема функціональна. Схема електрична функціональна
Схема функціональна автоматизації. Схема електрична принципова. Складальне креслення.
Друкована плата. Модель автоматичної підсистеми управління.

–

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання	27.11.2018	
2	Огляд існуючих рішень	20.01.2019	
3	Розробка структурної схеми	10.03.2019	
4	Розробка функціональної схеми	20.03.2019	
5	Розробка ФСА	15.04.2019	
6	Розробка принципової схеми	04.05.2019	
7	Розробка друкованої плати та складального креслення	12.05.2019	
8	Розрахунок стійкості системи	15.05.2019	
9	Оформлення текстової документації	25.05.2019	
10	Оформлення графічної документації	02.06.2019	

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

У дипломному проекті розглянуті питання з проектування автоматизованої системи управління лінією виробництва гранул. Система призначена для багатоканального введення цифрової інформації, що знімається з датчиків, в цифровий обчислювач, який реалізований на базі промислових мікропроцесорів ATmega, і на автоматизоване робоче місце, а також для виведення керуючих впливів з контролера і АРМа на виконавчі елементи.

Автоматизована система управління виробництва гранул спроектована на сучасній елементній базі, і може застосовуватися як система управління лінії виробництва гранул.

Аннотация

В дипломном проекте рассмотрены вопросы по проектированию автоматизированной системы управления линией производства гранул. Система предназначена для многоканального ввода цифровой информации, снимаемой с датчиков, в цифровой вычислитель, который реализован на базе промышленных микропроцессоров ATmega, и на автоматизированное рабочее место, а также для вывода управляющих воздействий с контроллера и АРМа на исполнительные элементы.

Автоматизированная система управления производством гранул спроектирована на современной элементной базе, и может применяться как система управления линии производства гранул.

Summary

The issues of designing an automated control system of the pellets-production are examined in the graduation work. The control system is designed for the multi-channel data input from digital sensors to the digital numerator based on industrial ATmega microcontroller and to the automated workstation and also to output of the control actions from the controller and workstation to the actuators.

The automated control system of the pellets production is designed using up-to-date parts and can be used as a control system for pellets-production line.

1 Найменування і область застосування

1.1 Автоматизована система управління водогрійним котлом.

1.2 Автоматизована система управління водогрійним котлом призначена для управління водогрійним котлом типу КВ-ГМ-10 та схожими за будовою та розмірами котлами.

2 Підстава для розробки

2.1 Навчальний план за спеціальністю «Програмна інженерія» (шифр 6.050103).

3 Мета і призначення розробки

3.1 Метою розробки є підвищення ефективності використання водогрійного обладнання, а також поліпшення умов роботи обслуговуючого персоналу.

3.2 Забезпечення отримання точних значень про роботу системи з метою поліпшення безпеки персоналу та стабільності роботи котельні.

4 Джерела розробки

4.1 Методичні вказівки до виконання дипломних робіт за спеціальністю «Програмна інженерія».

4.2 Навчальна, наукова і довідкова література.

5 Технічні вимоги

5.1 Автоматизоване керування котлом з теплопродуктивністю від 5ГКал/год.

5.2 Температурний графік води 70-150° С.

5.3 Витрата розрахункового палива до 1500 м³/год.

5.4 Розрахунковий ККД від 85%.

5.5 Робочий (надлишковий) тиск теплоносія на виході 1,0-2,25 МПа.

5.6 Управління та моніторинг водогрійного котла за допомогою робочої станції оператора.

5.7 Вимірювання тиску, температури та загазованості, управління подачею газу та повітря, можливість ручного відключення газу.

5.8 Світлова та звукова сигналізація.

5.9 Якість системи регулювання: відсутність пере регулювання; помилка регулювання — не більш як 2% від заданого впливу; максимальний час перехідного процесу 20 с.

5.10 Напрацювання на відмову не менше 20000 годин.

6 Стадії та етапи розробки

№	Етапи розробки дипломного проекту	Строки	Примітка
1	Видача завдання	27.11.2018	
2	Огляд існуючих рішень	20.01.2019	
3	Розробка структурної схеми	10.03.2019	
4	Розробка функціональної схеми	20.03.2019	

5	Розробка принципової схеми	15.04.2019	
6	Розробка друкованої плати та складального креслення	04.05.2019	
7	Розрахунок стійкості системи	12.05.2019	
8	Оформлення текстової документації	15.05.2019	
9	Оформлення графічної документації	25.05.2019	
10	Подання дипломного проекту до захисту	02.06.2019	

7 Характер розробки

Дипломний проект повинен бути виконаний відповідно до вимог, описаних в методичних вказівках до виконання дипломних проектів для студентів спеціальності «Програмна інженерія».

Текстові та графічні документи дипломного проекту повинні бути виконані на рівні технічного проекту і мати літеру «Т».

8 Порядок контролю і приймання

Готовий дипломний проект, який містить підпис виконавця, перевіряється і підписується керівником, затверджується завідувачем кафедри АУТС і представляється до захисту у встановлений термін.

Номер строки	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. листів	Номер екзем.	Примітка
1			Документація загальна			
2						
3			Знову розроблена			
4						
5	A4	IT41.150БАК.006 ПЗ	Пояснювальна записка	95		
6	A4	IT41.150БАК.006	Специфікація	2		
7						
8	A3	IT41.150БАК.006 Э1	Автоматизована система	1		
9			управління водогрійним котлом			
10			Схема електрична структурна			
11	A3	IT41.150БАК.006 Э2.1	Автоматична система	1		
12			управління водогрійним котлом			
13			Функціональна схема			
14			автоматизації			
15	A3	IT41.150БАК.006 Э2.2	Автоматична система	1		
16			управління водогрійним котлом			
17			Схема електрична функціональна			
18	A3	IT41.150БАК.006 СА	Автоматична система	1		
19			управління водогрійним котлом			
20			Алгоритм роботи			
21			керуючої програми контролера			
22	A3	IT41.150БАК.006 СБ	Блок мікроконтроллера	1		
23			Складальний кресленик			
24	A2	IT41.150БАК.006 Э3	Блок мікроконтроллера	1		
25			Схема електрична принципова			
26						
27						
28						

					ІТ41.150БАК.006 ЭЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Красіков				Автоматизована система управління лінією виробництва паливних гранул Відомість технічного проекту			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Яланецький										
Реценз.											
Н. Контр.											
Затверд.											
					НТУУ «КПІ» ФІОТ група ІТ-41						

Номер строки	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. листів	Номер екзем.	Примітка
1	A2	IT41.150БАК.006 Э3.1	Блок живлення	1		
2			Схема електрична принципова			
3						
4						
5						
6			<u>Документація по деталях</u>			
7						
8			Знову розроблена			
9						
10	A3	IT41.150БАК.006	Плата друкована	1		
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

31						
31						

ЗМІСТ

ВСТУП	16
1 ПРИЗНАЧЕННЯ І ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛ ПАЛИВНИХ (ПЕЛЕТ).....	17
2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	17
3 ОПИС ТА АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛ.....	18
3.1 Класифікація виготовленого продукту	21
3.2 Опис класів гранул.....	22
3.2.1 Білі гранули.....	22
3.2.2 Індустріальні гранули	22
3.2.3 Агрогранули.....	23
3.3 Характеристики гранул	23
3.4 Переваги та недоліки гранул	24
3.5 Огляд існуючих рішень	25
3.5.1 Лінія виробництва на базі прес-гранулятора та комплектуючих компанії FDSP.....	26
3.5.1.1 Прес- гранулятор з круглою матрицею.	26
3.5.1.2 Охолоджувач.....	28
3.5.1.3 Обертальний розподільник	30
3.5.1.4 Молоткова дробарка	31
3.6 Лінія виробництва на базі прес-гранулятора ОГМ-1,5	32
3.7 Аналіз технологічного процесу виробництва гранул.....	34
3.7.1 Ділянка підготовки сировини	36
3.7.2 Ділянка сушіння.....	36
3.7.3 Ділянка гранулювання	37
3.7.4 Ділянка охолодження.	38
3.7.5 Ділянка пакування	39

4 РОЗРОБКА І ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛ.....	39
5 РОЗРОБКА І ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ СИРОВИНИ	40
6 РОЗРОБКА І ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ГРАНУЛЮВАННЯ	42
7 РОЗРОБКА І ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАТАРЮВАННЯ.....	45
8 РОЗРОБКА І ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ БЛОКУ КЕРУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ.....	46
9 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ І КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ	47
9.1 Вибір датчика ваги.....	47
9.2 Вибір датчика тиску	49
9.3 Вибір датчика вологості	Ошибка! Закладка не определена.
9.4 Вибір датчика температури	Ошибка! Закладка не определена.
9.5 Вибір витратоміра	50
9.6 Датчик положення.....	50
9.7 Вибір мікроконтролера	52
9.8 Вибір пристрою перетворювача рівнів.....	53
10 РОЗРОБКА І ОПИС ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ БЛОКУ КЕРУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ.....	53
11 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	55
11.2 Визначення стійкості системи за критерієм Гурвіца	58
11.3 Визначення стійкості системи згідно з критерієм Найквіста.....	59
11.4 Визначення стійкості системи згідно критерію Михайлова.....	61
11.5 Побудова логарифмічних характеристик	63
11.6 Аналіз якості системи і синтез регулятора.....	65
12 РОЗРАХУНКИ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ.....	68
ВИСНОВОК.....	72

Вступ

Автоматизація виробництва на підприємствах є одним з найбільш вирішальних факторів підвищення якості продукції та зниження її собівартості.

Підвищені вимоги до конкурентоспроможності готової продукції вимагають оновлення та вдосконалення систем управління на базі новітніх засобів та застосування сучасних технологій в дерево-переробній промисловості.

Автоматизація виробництва дозволяє збільшувати виробничу потужність відповідно ринковій ситуації, вирішити проблему нестачі висококваліфікованого персоналу, необхідного для обслуговування виробничих ліній і зменшити час його перебування на робочій лінії, що надасть можливість мінімізувати рівень травматизму; знизити загальне енергоспоживання в цеху шляхом контролю за часом роботи машин та обладнання і усунення їх простою. Завдяки дотриманню параметрів виробництва і точному дозуванню компонентів досягається поліпшення якості продукції і знижується рівень бракованого продукту. Впровадження автоматизованої системи виробництва дозволяє забезпечити точність отримуваних даних про технологічні параметри і чіткість прийнятих рішень для їх регулювання. Своєчасне надходження інформації про коливання і відхилення технологічних параметрів сприяє зростанню надійності функціонування обладнання.

Наразі в дерево-переробній промисловості накопичений значний досвід автоматизації технологічних процесів шляхом впровадження систем контролю, регулювання та управління на базі комплексу технічних засобів загальнопромислового та галузевого призначення.

Комплексний підхід до вирішення завдання по автоматизації виробництва паливних гранул (пелет) забезпечує якісну і ефективну роботу технологічних ланок. При такому підході необхідно підготувати технологічне обладнання і обрати належні засоби для основних і допоміжних процесів. Це

дозволяє значно підвищити ефективність виробничих процесів, поліпшити якість продукції, створити умови для ефективного використання виробничих ресурсів.

1 ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛ ПАЛИВНИХ (ПЕЛЕТ)

Автоматизована система управління процесом виробництва пелет може застосовуватися на промислових підприємствах з власними деревними відходами, наприклад, лісопильних цехах, стругальних цехах, меблевому виробництві, виробництві вікон та дверей, а також в аграрних галузях (лушпиння соняшнику, солома і т.п.).

Призначення системи - оптимізація керування обладнанням лінії з виробництва та пакування гранул паливних. Система забезпечує автоматизований збір даних з вимірювальних перетворювачів сигналів і їх первинну обробку (візуалізація та перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях вимірювання: °C, Па та ін.) для розрахунку, видачі та реалізації керувальних впливів на технологічне устаткування відповідно до прийнятих критеріїв керування; дозволяє мінімізувати час виробництва, підвищити якість управління виробничим процесом та знизити витрати на організацію роботи, збільшити кількість та якість продукту.

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Розроблена система відповідає наступним технічним вимогам:

- керування виробничою лінією за допомогою автоматизованого робочого місця оператора;
- основний інтерфейс зв'язку між підсистемами – RS–485;
- регулювання температури в охолоджуючій колонці:
 - перерегулювання: $\leq 0.158\%$;
 - час встановлення: $\leq 0.773\text{с.}$;
 - час перехідного процесу: $\leq 1.34\text{ с.}$;
- час напруцювання на відмову – приблизно 22000 год.

3 Опис та аналіз процесу виробництва гранул ПАЛИВНИХ (ПЕЛЕТ)

На підприємствах лісового комплексу удосконалюється процес перероблення відходів первинної деревообробки без застосування сторонніх в'язучих речовин на тверде біопаливо. Сировиною для його виробництва можуть бути різні деревні відходи, наприклад: стружка, рейки, тирса, обаполи, сучки, тріска, деревний пил. Для виготовлення твердого біопалива крім відходів деревних порід можна використовувати відходи сільського господарства (качани кукурудзи, солома, лущиння соняшнику, гречки, рису та ін.).

Усі відходи повинні мати однакову консистенцію за розміром і за рівнем вологості. Тому відходи розмірами до 5000 мм за довжиною, до 300 мм за шириною та до 100 мм за товщиною підлягають подрібненню та сушінню до потрібної вологості.

Відходи деревини розрізняються за розміром і видом (сучки, рейки, стружка, відрізки частини стовбура, пилопродукція, шпону та ін.), що вимагає для їх обробки різного устаткування. При цьому у результаті переробки має бути отримана сировина однієї фракції, частини якої повинні мати розміри і вигляд тріски (основної маси). Для цього підготовка деревної сировини відбувається із застосуванням спеціальних технологій - за допомогою спеціального устаткування крупномірну деревину розколюють і подрібнюють[14].

Одним з важливих чинників у технології виготовлення твердого біопалива є облік деревної сировини, особливо для підприємств, які

закуповують сировину (деревні відходи). Для правильного обліку об'ємів відходів застосовується коефіцієнт повнодеревності (K_p).

Нижче наведено величини коефіцієнта повнодеревності (K_p) для деяких видів деревних відходів:

- вершинки стовбурів – 0,26;
- обрізання стовбурів і колод – 0,38;
- шпон-рванина – 0,43;
- суміш обаполів і рейок – 0,40.

Облік подрібненої деревини (тріска, стружка та ін.) здійснюється згідно з відповідним коефіцієнтом, наприклад: K_p для тріски у разі перевезення до 5 км дорівнює 0,26. Належний облік сировини дає змогу фактично оцінити витрати на виготовлення твердого біопалива.

Іншим важливий чинник - величина подрібненої деревної маси. У технічних характеристиках устаткування (прес для брикетів, прес-гранулятор) заявлені відомості про пресування деревних частинок розміром до 16 мм, але на підприємствах пресуванню підлягає деревна маса з розміром частинок до 1 мм, тобто тріска. Якщо на підприємстві, окрім тріски, є інші відходи, то технологічний процес включає також операції подрібнення і, за потреби, доподрібнення деревної маси під час гранулювання.

Як правило, подрібнення кускових відходів у деревну масу здійснюється поетапно. На першому етапі - виготовляють тріску, яку доподрібнюють у молотковій дробарці, висушують і додатково доподрібнюють за потреби. Таке додаткове доподрібнення зумовлене тим, що молоткові дробарки не можуть подрібнювати вологу тріску чи утворювати з тріски тирсу. Цей ланцюг операцій призводить до значного підвищення собівартості паливних гранул.

Більш перспективним є одноетапний процес, за якого з кускових відходів або тріски відразу виробляють деревну масу (переважно тирсу), придатну для пресування.

Також важливим чинником є присутність вологи у деревній сировині. На підприємствах лісового комплексу сировина переважно має вологість,

більшу ніж 30%, а для отримання твердого біопалива вона повинна мати вологість не більше 15% під час гранулювання і не більше 9-13% – під час виробництва брикетів, тому сировину необхідно просушити. Сировина з вологістю більше 13% погано пресується, а виготовлені з неї паливні гранули не мають відповідних параметрів якості через підвищену вологість. Гранулювання сировини можливо тільки у випадку коли її вологість знаходиться в межах 8-14%. При перевищенні цього показника пелети стають крихкими і при перевезенні до споживача втрачають необхідні властивості. Наслідком недостатнього рівню вологи також стає підвищена крихкість гранул, оскільки лігнін, який виступає в якості в'язучого, не розподіляється однорідно по всій масі сировини.

Для доведення вологості сировини до нормативних значень використовуються спеціальні сушарки для тріски або модифіковані пристрої з інших виробництв, зокрема сушарки барабанного або стрічкового типу. Вибір типу сушарки визначається вимогами до якості продукції, видом сировини і джерелом теплової енергії.

Сушіння є найбільш енергоємним процесом в технологічному процесі виробництва твердого біопалива. [2]. Для отримання однієї тонни сухої подрібненої біомаси необхідно спалити близько 200 кг подрібненої деревної маси та витратити близько 400-500 кВт електроенергії. У виборі обладнання необхідно враховувати витрати електроенергії на виробництво твердого палива, наприклад: середні витрати електроенергії на виготовлення однієї тонни брикетів становлять 50-75 кВт, а на одну тонну пелет – 100-115 кВт.

Спосіб виготовлення палива із подрібнених деревних відходів полягає у пресуванні високим тиском. Прес для гранулювання - основа виробництва гранул, від його роботи залежить усе виробництво. Розрізняють гранулятори:

- з круглою матрицею;
- з плоскою матрицею.

Пресування проводиться за допомогою прес-гранулятора в умовах температури близько 80⁰С та підвищеного тиску – 400-1000 МПа. Технологічний процес пресування займає близько 20 % від усіх затрат. В

економічній оцінці виробництва також необхідно враховувати витрати на підготовку деревної сировини і наявність власних деревних відходів.

Для виготовлення гранул використовують пресове устаткування з циліндричною матрицею і плоскою матрицею (дискового типу). Преси з плоскою матрицею простіші в експлуатації і чищенні. Суть процесу гранулювання полягає в продавлюванні спеціальними роликами подрібненої деревної маси через отвори обертальної матриці. Отвори бувають різного діаметра: від 6 до 12 мм, довжина і форма якого залежить від виду пресованої маси[13].

Виробничий процес носить тип масового виробництва, характеризується великим обсягом випуску продукції одного найменування. Процес здійснюється з застосуванням мінімальної частки ручної праці, на високопродуктивному обладнанні. У зв'язку з застосуванням електроенергії й екологічно чистої сировини виробничий процес не шкодить навколишньому середовищу. Виробництво безвідходне та в результаті застосування сучасного обладнання характеризується відсутністю шкідливих викидів в атмосферу та промислових стоків.

3.1 Класифікація виготовленого продукту

Паливні гранули (пелети) — біопаливо, яке отримують із деревних відходів, відходів сільського господарства, спресованих під високим тиском без додавання клею. Часто до їх складу додають торф або відходи сільського господарства. Представляють собою гранули циліндричної форми стандартних розмірів - діаметр деревних гранул 4-10 мм, а довжина приблизно 20-50 мм.. В якості сполучної речовини виступає рослинний складник - лігнін.

Процес формування гранул відбувається під тиском близько 300 атм. Паливні гранули є екологічно чистим видом палива, що є основними перевагами пелет над іншими джерелами теплової енергії. При спалюванні гранул в атмосферу викидається стільки ж вуглекислого газу, скільки утворилося би при природному розкладанні деревини. Пелети найчастіше використовуються для опалення будинків і котеджів. Крім того, на гранулах

працюють комунальні котельні, підприємства і електростанції достатньо великої потужності[14].

Класифікація гранул:

- класифікація по сорту:
 - «білі пелети» (гранули преміум сорту);
 - агропелети (паливо стандартної якості)
 - індустриальні пелети.
- класифікація по використовуваній сировині:
 - гранули з дерева;
 - гранули з лушпиння;
 - гранули з торфу;
 - гранули з вугілля;
 - гранули з твердих побутових відходів.

3.2 Опис класів гранул

3.2.1 Білі пелети.

Білі гранули мають світлий колір, який досягається окоркою деревини перед дробленням і гранулюванням, а також правильним сушінням деревини. Зольність у білих гранул 0,5% і нижче, завдяки чому вони мають велику перевагу перед своїми конкурентами – котел при їх використанні потрібно чистити всього один раз в місяць. Теплотворна здатність білих пелет – 17 МДж/кг. Гранули преміум сорту виготовляються з тріски твердих або м'яких порід деревини, що не містять кору дерева. Преміум пелети складають більше ніж 95% від усього виробництва гранул і можуть використовуватися в усіх печах, створених для палива стандартного або підвищеної якості.

3.2.2 Агропелети

Паливо стандартної якості. Такі гранули виробляють з відходів лущення гречки, насіння соняшнику і подібних сільськогосподарських відходів. Такі гранули мають дуже темний колір. Зольність даної категорії гранул не менше 3%, а їх теплотворна здатність - 15 МДж/кг. Основна перевага агрогранул – їх

ціна. Вони набагато дешевші інших. Але при їх використанні чистка котла має проводитися один раз на день, або має використовуватися котел з автоматичною чисткою. Такі гранули повинні використовуватися тільки в печах, що визначаються для їх використання.

3.2.3 Індустріальні пелети

Колір таких гранул також темний, що пов'язано з тим, що в гранулах наявні кора та інші вогнетривкі залишки (земля, пил). Їх зольність починається від 0,7%, а теплотворна здатність дорівнює 17 МДж / кг, як і у «білих пелет».

3.3 Характеристики паливних гранул

Гранули представляють собою пресовані циліндри зазвичай діаметром до 25 мм, найбільшого поширення набули гранули діаметром 6 – 10 мм.

Фізико-геометричні характеристики:

- довжина;
- діаметр;
- вологість;
- зольність;
- щільність;
- насипна маса;
- стиранність.

Вміст золи, відповідно до стандарту європейських країн, складає не більше ніж 1,5%. Зольність гранул не є суттєвою при спалюванні в промислових установках з автоматичним золовидаленням.

Хімічні характеристики пелет залежать від вихідної сировини. У процесі пресування не допускається використання сторонніх матеріалів, таких як клей і пластмаси.

Найчастіше основним показником при формуванні вартості на даний вид палива є така його характеристика як кількість виділеної теплової енергії.

Фізичні характеристики паливних гранул:

- виділювана енергія при згорянні – 5 кВт/кг;
- залишок вологості – 8 - 12%;

- зольність – максимум 3%;
- довжина – 5 - 50 мм;
- щільність – 1200 - 1400 кг/м³;
- насипна щільність (для транспортування і зберігання) – 650 кг/м³.

В таблиці 3.1 для порівняння наведені фізичні характеристики різних видів палива.

Таблиця 3.1 – Фізичні характеристики різновидів палива

Різнovid палива	Теплота згорання (МДж/кг)	Калорійність (ккал)	% зола	% сірка
Кам'яне вугілля	15-25	4500-5200	10-35	1-3
Дрова	10-12	2440-2910	1-3	0
Торф'яні гранули	17,58	4200	0	0,7
Деревні гранули	19	4500	1	0,1
Тріска загалом	6-9	1400-2150	1-3	1-3
Природний газ	35,88 МДж/м ³	8570	0	0

При спалюванні 1 тони пелет виділяється стільки теплової енергії, як при спалюванні:

- 1600 кг деревини;
- 480 м³ газу;
- 500 л дизельного палива.

3.4 Переваги та недоліки гранул

Переваги:

- екологічно чисте паливо з вмістом золи не більше 3%. При спалюванні в атмосферу викидається рівно стільки CO₂, скільки було поглинуто рослиною під час зростання;
- низька схильність до самозаймання;
- висока сухість (8-12% вологи проти 30-50% в дровах)
- висока щільність (приблизно в півтора рази вища порівняно із дровами).
- низька вологість.

Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність в порівнянні з тріскою або дровами – при згоранні 1 тонни гранул виділяється приблизно 5000 кВт/ год тепла, що в півтора рази більше, ніж у звичайних дров.

Але така властивість пелет як низька вологість є не тільки їх перевагою як палива, але і проблемою їх виробництва, оскільки сушіння може виявитися однією з основних статей витрат при виробництві паливних матеріалів з відходів деревообробки. Крім того, залежно від виробництва, збір, сортування і очищення сировини також можуть спричинити додаткові витрати. Процес сушіння має бути ретельно спланованим, що дозволить мінімізувати ризики, пов'язані з якістю готової продукції, її собівартістю і пожежонебезпекою виробництва[14]. Кращим варіантом є виробництво біопалива з сухої стружки.

Одна з найважливіших переваг гранул - висока і стабільна насипна щільність, що полегшує транспортування цього сипкого продукту на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції пелети можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси навантаження-розвантаження цього виду палива.

Недоліки:

- необхідність складського запасу;
- можливий шкідливий вплив на навколишнє середовище в процесі спалення, у випадку забруднення токсинами або радіоактивними речовинами місця зростання сировини.

3.5 Огляд існуючих рішень

Існує багато схем установки ліній для гранулювання. Велике значення має те, який прес-гранулятор встановлений в лінії. Нижче приведені приклади ліній, побудованих на комплектуючих різних виробників. У кожному

окремому випадку комплектація залежить від таких показників як: виробнича потужність та окремі необхідні комплектуючі елементи[2].

Розглянемо наступні лінії виробництва побудовані на комплектуючих такої компанії як FDSP та вітчизняні варіанти на базі прес-гранулятора ОГМ-1.5.

3.5.1 Лінія виробництва на базі прес-гранулятора компанії FDSP.

FDSP одна з найвідоміших компаній по виробництву та постачанню сучасного високотехнологічного обладнання для гранулювання різних видів сировини (жмих, опил, солома, торф, вугілля і т.п.).

На рисунку 3.1 представлена схема автоматизованого виробництва гранул побудованого на комплектуючих марки FDSP, яка включає в себе: 1 – бункер з допливом, 2 – оглядове вікно, 3 – конвейер, 4 – турбіна, 5 – теплогенератор, 6 – заслінка, 7 – іскрогасник, 8 – подавальний конвейер, 9 – заслінка, 10 – штуцер для вуглекислоти, 11 – шлюзовий затвор, 12 – оглядове вікно, 13 – заслінка, 14 – вихід сухого матеріалу, 15 – витяжний вентилятор, 16 – заслінка, 17 – шлюзовий затвор.

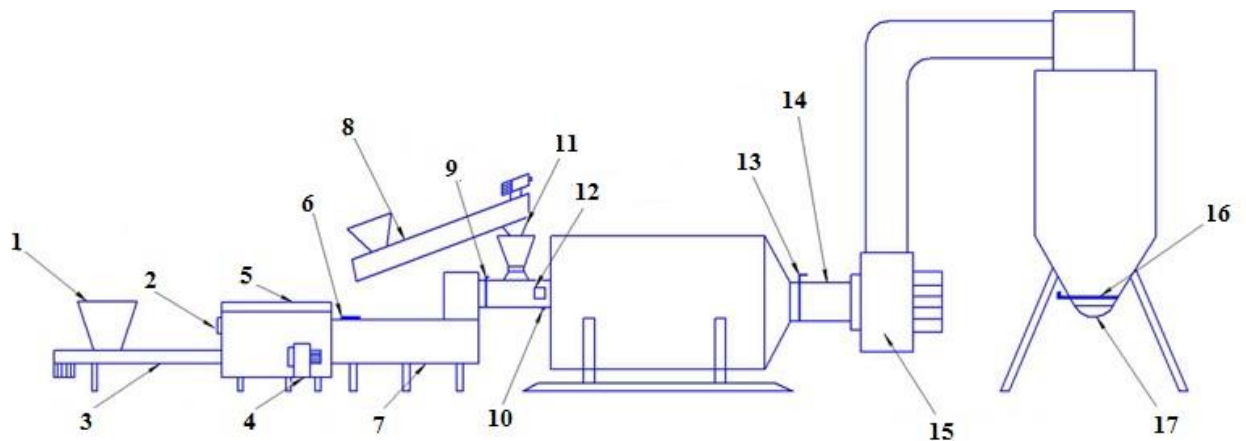


Рисунок 3.1 – Автоматизоване виробництво гранул побудоване на комплектуючих марки FDSP.

3.5.1.1 Прес-гранулятор з круглою матрицею.



Рисунок 3.2 – Прес-гранулятор марки FDSP

Його продуктивність становить від 450 до 600 кг готових брикетів у годину.

Прес-гранулятор з круглою матрицею, зображений на рисунку 3.2, приводиться в дію ремінним приводом з двома синхронними роликowymi приводами. Такі гранулятори відрізняються міцною конструкцією, оптимізованим цифровим виходом та відсутністю потреби у постійному нагляді. Завдяки ергономічній конструкції замовник може не перейматися через площу, що займає гранулятор.

Оснащення прес-гранулятора:

- високоефективна зубчаста передача для максимальної передачі енергії;
- пристрій подачі матеріалу з нержавіючої сталі;
- механізм зміни кроку;
- система електромагнітного регулювання швидкості;
- темперуюча машина з нержавіючої сталі;
- система осьової подачі пари;
- зубчасте колесо високої точності і вал зубчастої передачі із насиченої вуглецем і загартованої сталі;

В таблиці 3.2 розглянуті фізичні характеристики пресів-грануляторів марки **FDSP**

Таблиця 3.2 – Характеристики прес-гранулятора

Модель	SZLN320
Виробнича здатність (т/год)	1 – 3
Потужність основного механізму(кВт)	37 – 45
Потужність темперуючої машини(кВт)	2,2
Потужність пристрою подачі матеріалу(кВт)	0,55 – 0,75
Внутрішній діаметр кільця (мм)	320
Розмір гранул(мм)	2 – 18

3.5.1.2 Охолоджувач



Рисунок 3.3 – Охолоджувач марки FDSP

Для даної моделі охолоджувача, зображеного на рисунку 3.3, устаткування здійснює охолодження гранул високої температури і високої вологості, ґрунтуючись на принципах охолодження зворотного струму, без прямого контакту холодного потоку повітря з гарячим матеріалом і без різкого охолодження сировини (рисунок 3.4.) Такий спосіб охолодження запобігає розтріскуванню поверхні гранул, крім того, позитивний результат охолодження дає застосування обладнання з закритою подачею потоку повітря.

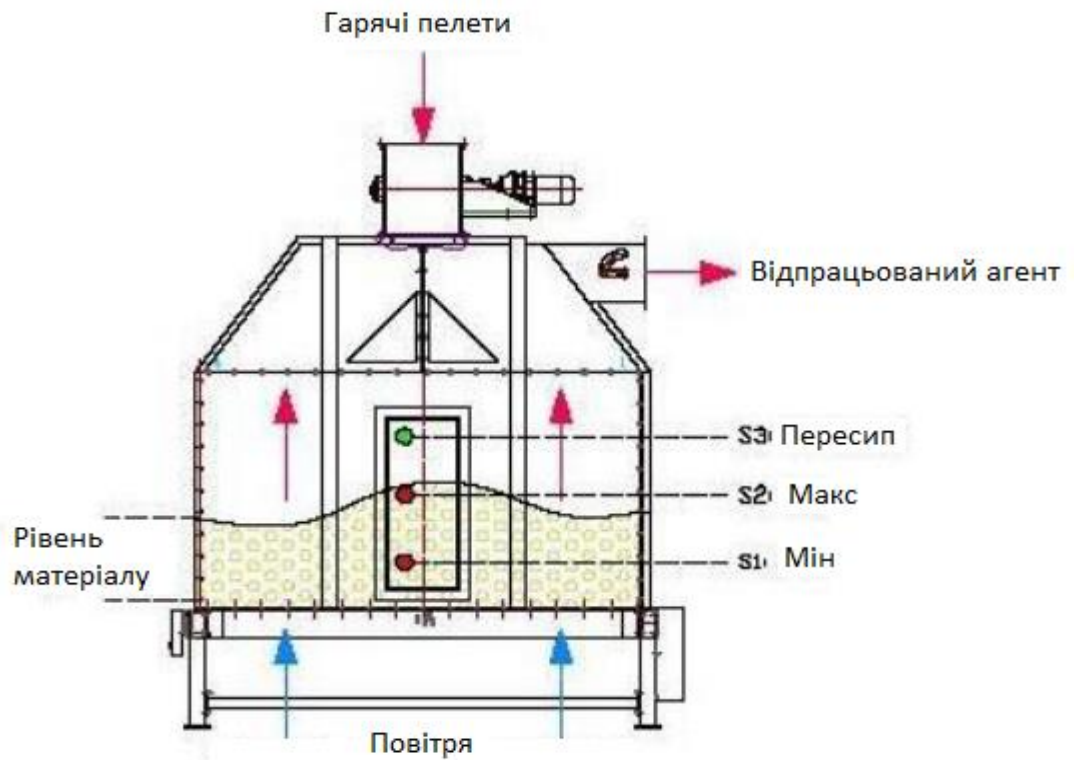


Рисунок 3.4 – Схема роботи охолоджувача

Даний охолоджувач може бути оснащений самоочисним скребковим конвейером. На рисунку 3.5 представлено скребковий конвейер.



Рисунок 3.5 – Скребковий конвейер марки FDSP

В таблиці 3.3 розглянуті фізичні характеристики охолоджувачів марки FDSP.

Таблиця 3.3 – Характеристики охолоджувачів марки FDSP

Модель	SKLN1.5	SKLN2.5	SKLN4	SKLN6	SKLN8
Охолоджуюча ємність, (м3)	1,5	2,5	4	6	8
Продуктивність, (т/год)	3	5	10	15	20
Час охолодження, (хв)	Не менше 10 – 15				
Обсяг витяжки повітря, м3/хв)	34				
Потужність, (кВт)	0,75	1,10	1,50	1,50	1,50

3.5.1.3 Обертальний розподільник



Рисунок 3.6 – Обертальний розподільник марки FDSP

Обертальний розподільник марки FDSP серії TFPX, зображений на рисунку 3.6, простий в управлінні, зручний в обслуговуванні і монтажі, відрізняється компактною конструкцією, стабільністю обертання на трубах скидання матеріалу. Засоби отримання оснащено редуктором з циклоїдним цевочним колесом. Чітко продумано місце розташування труб скидання матеріалу, що забезпечує коректний розподіл. В таблиці 3.4 представлено виробничу здатність різних обертальних розподільників марки FDSP.

Таблиця 3.4 – Характеристики обертальних розподільників

Модель	TFPX4	TFPX6	TFPX8	TFPX10	TFPX12
Продуктивність(т/год)	30-40	30-40	40-60	40-60	40-60
Потужність, (кВт)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55

3.5.1.4 Молоткова дробарка



Рисунок 3.7 – Молоткова дробарка марки FDSP

Молоткова дробарка, зображена на рисунку 3.7, забезпечує належну якість тріски при обробці деревної сировини, а також целюлози для виробництва МДФ, ОСБ, ДСП, паливних гранул. Сировиною для дробарки в основному є макулатура, гілки, тріска, дошка, і т.д. Дробарка цієї серії складається з автоматичної системи управління, нижнього і верхнього подавального роликів, приймального сідла, ножів ротора, гідравлічної системи тиску. Нижній і верхній подавальні ролики легко демонтуються і замінюються в разі потреби. Приймальне сідло – це високоміцна сталева пластина без зварних з'єднань. Нижній різак дробарки використовує гідравлічний тиск масла в циліндрах. Ріжучий ролик має захисні пластини. В таблиці 3.5 представлено фізичні характеристики різних молоткових дробарок марки FDSP.

Таблиця 3.5 – Характеристики молоткових дробарок марки FDSP

Модель	LYGX 213/5	LYGX 216	LYGX 218	LYGX 218D	LYGX 2110
Ротор діаметром (мм)	300	650	800	800	1000
Кількість ножей, шт	2	2	2	2	2x2
Завантажувальний отвір	120x300	180x500	225x680	240x780	330x1050
Швидкість обертання ротора ножа, (об/хв)	730	590	650	650	550
Швидкість подачі, (м/м)	38	37,2	37	38	33
Мах діаметр сировини, (mm)	Різка кори	120	120	160	190
Довжина тріски, (мм)	26	30	30	30	30

3.6 Лінія виробництва на базі прес-гранулятора ОГМ-1,5

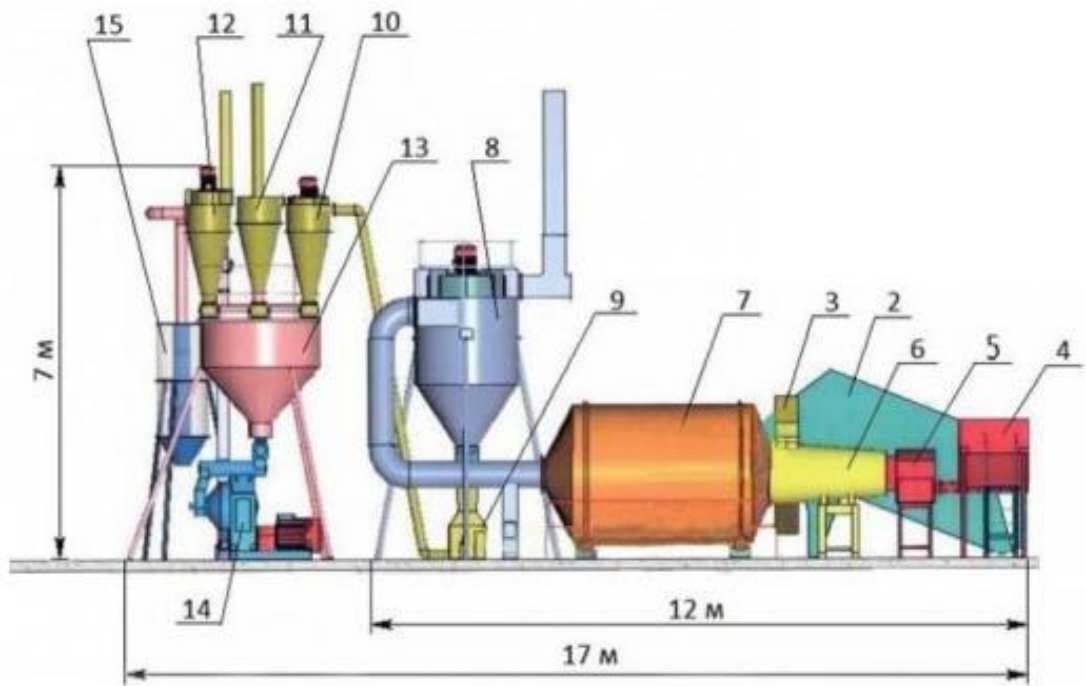


Рисунок 3.8 – Лінія виробництва на базі прес-гранулятора ОГМ-1,5

Лінія виробництва на базі прес-гранулятора ОГМ-1,5, зображена на рисунку 3.8, включає: 1 – під’ємний лоток, 2 – живильник біомаси, 3 – скребковий транспортер, 4 – бункер, 5 – камера згоряння, 6 – теплогенератор, 7 – сушильний барабан, 8 – циклон відводу висушеної біомаси, 9 – дробарка молоткова, 10 – циклон відводу подрібненої маси, 11 – пасивний циклон, 12 – циклон охолоджувача барабанного, 13 – бункер гранулятора, 14 – гранулятор ОГМ-1,5, 15 – охолоджувач барабанний. Лінія ОГМ-1,5 має загальну продуктивність до 0,8-1,0 т/час та призначена для виготовлення гранул з комбікормів, соломи, лушпиння соняшника, деревних відходів або інших продуктів. Вихідним продуктом є пресовані гранули циліндричної форми діаметром 8 мм.

Комплектуючі гранулятора ОГМ 1,5: корпус, кришки корпусу, передні панелі корпусу, платформи, муфти, трубчастий вал, гайки планшайби, плити, метелики гранулятора, хомути кріплення матриці, задні втулки, шайби притиральні, задні стакани, гайки вала трубчастого, регулювання роликів, капелюхи гранулятора, нижній вал, шестерня, середній вал, шестерня середнього вала, шестерня планшайби, бункер-накопичувач лінії, циклон,

система циклонів, охолоджувач, норія лінії, дозатор гранулятора, ворошитель, змішувач.

В таблиці 3.6 представлені технічні характеристики лінії гранулювання на базі ОГМ-1,5.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики лінії гранулювання на базі ОГМ-1,5.

Продуктивність:	800 – 1 000 кг/год
Встановлена потужність:	160 кВт – год
Пресс-гранулятор:	ОГМ-1,5
Тип сировини:	тріска і деревні відходи
Діаметр отворів матриці:	8 мм
Потужність двигуна преса:	75 кВт – год
Потужність двигуна змішувача:	2,2 кВт – год
Частота обертання матриці:	140 на хв.
Частота обертання змішувача:	408 на хв..
Діаметр вальців:	190 мм
Діаметр змішувача:	282 мм
Кількість вальців:	2
Маса пресс-гранулятора:	1800 кг
Джерело електричної енергії:	3 х 380 В

3.7 Аналіз технологічного процесу виробництва паливних гранул

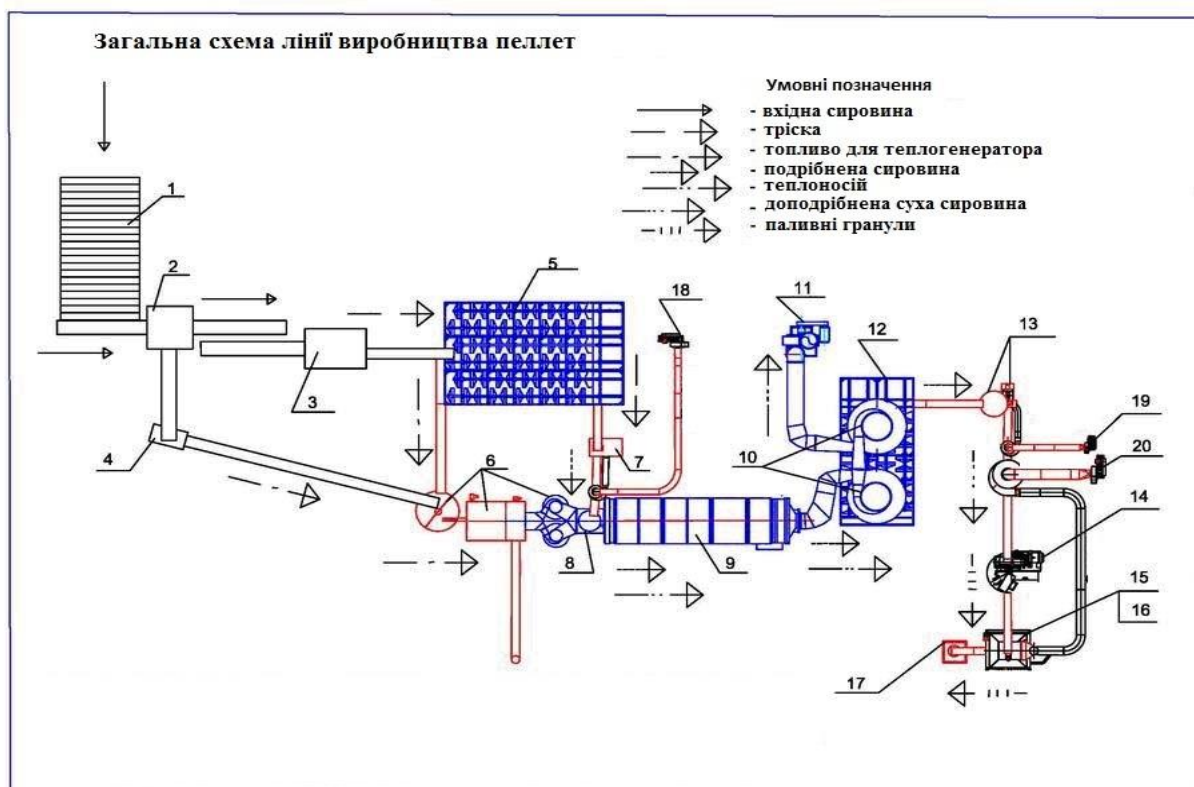


Рисунок 3.9– Загальна схема лінії виробництва паливних гранул

Загальна схема лінії виробництва гранул, зображена на рисунку 3.9:

1 – склад, 2 – корувальний верстат, 3 – рубальна машина, 4 – корорубка, 5 – склад тріски, 6 – теплогенератор, 7 – дробарка, 8 – бункер сушильного агрегату, 9 – сушильний барабан, 10 – циклон сушильного барабану, 11 – димосос, 12 – склад сирі сировини, 13 – дробарка з бункером-дозатором, 14 – прес-гранулятор, 15 – охолоджувач гранул, 16 – вибросито, 17 – лінія упаковки, 18,19,20 – вентилятори.

Процес перероблення деревних відходів у екологічно-чисте пальне представляє собою пресування подрібненої деревної маси в умовах високої температури (близько 100°C .), та подальше її охолодження. Сировина поступає в дробарку, де подрібнюються до стану борошна. Отримана маса поступає в сушарку, далі – у прес-гранулятор, у якому деревне борошно пресують у гранули. Стиснення під час пресування сприяє підвищенню температури матеріалу. Лігнін, що міститься в деревині, розм'якшується і склеює частки в щільні циліндри.

Для розмежування зайнятості операторів лінію виробництва зазвичай ділять на чотири ділянки:

- I – ділянка підготовки сировини, де нерівномірні по фракціях відходи, у тому числі кускові відходи, рейки, горбиль, дробляться до стану опилу;
- II – ділянка сушіння, де опил висушується до вологості $15 \% \pm 2 \%$, яка необхідна для процесу гранулювання;
- III – ділянка гранулювання, де висушений опил в спеціальних прес-грануляторах перетворюється на гранули діаметром 6 – 8 мм;
- IV – ділянка пакування у поліетиленові мішки по 15 – 25 кг або великі мішки (біг-беги) обсягом приблизно 1 м^3 , або насипом.

3.7.1 Ділянка підготовки сировини

Для подальшої сушки деревну сировину подрібнюють в дробарці до фракції з розмірами не більше 25x25x2 мм. Чим дрібніша фракція, тим нижче енерговитрати на сушіння. В залежності від використовуваної сировини на деяких підприємствах застосовують магнітний вловлювач, який відділяє металеві домішки від сировини перед процесом сушіння. Також для збільшення продуктивності процесу подрібнення, оператор регулює частоту обертання барабанів дробарки. Це зменшує ризик перенавантаження електродвигуна.

3.7.2 Ділянка сушіння

Перед пресуванням сировина повинна мати вологість $15 \% \pm 2 \%$. Якщо відхилення показнику вологості більше ніж 2%, то сировина вимагає додаткової сушки або додаткового зволоження. Сушарки бувають: за принципом дії – стрічкового та барабанного типу; за типом вживаного палива – газові і на деревних відходах; за типом вживаного сушильного агента – на топкових газах, гарячому повітрі і водяній парі.

Після подрібнення частина сировини переміщується до транспортера, який спрямовує її у бункер палива теплогенератора. З бункера палива сировина подаються шнеком в камеру згоряння теплогенератора. Продукти горіння з теплогенератора направляються в змішувач. Під впливом розрядження, створюваного димососом, сюди ж надходить холодне атмосферне повітря і передана на сушку сировина. Спочатку перемішуються

продукти горіння з холодним повітрям, пропорції змішування регулюються автоматично, забезпечуючи дотримання потрібної температури теплоносія. Після чого теплоносієм переміщується з вологою сировиною і засипається в барабанну сушарку. З барабану, за допомогою лопатей, сировина піднімається вгору та проходить через потік теплоносія, просуваючись до виходу. Просушена сировина всмоктується у циклон методом розрядження, що створюється димососом. За рахунок відцентрової сили в циклоні сировина осідає і переміщується вниз, а відпрацьований теплоносієм викидається в димову трубу.

За допомогою шлюзового затвору з циклону сировина дозовано переміщуються в розподільник потоку, потім потрапляє в молоткову дробарку. З цього моменту сировину прийнято називати борошном, яке потім потрапляє в бункер гранулятора. У самому бункері, всередині розташовано пристрій, який перешкоджає злежуванню борошна.

3.7.3 Ділянка гранулювання

Сировина з вологістю менше 8% погано піддається пресуванню, тому потрібно додаткове зволоження сировини, наприклад, за допомогою шнекових змішувачів з можливістю подачі води або пари. Пару застосовують для збільшення пластичності та зниження міцності деревної сировини, або збільшення вологості борошна до необхідного рівня. Далі зволене борошно надходить в прес-гранулятор через відділювач феромагнітних домішок.

Гранулятор призначений для отримання гранул зі зволоженого продукту шляхом продавлювання його пресуючими вальцями через радіальні отвори кільцевої матриці. Він складається з встановленого на рамі преса та змішувача. Прес складається з редуктора і вузла пресування. Швидкохідний вал-шестерня обертається в конічних ролико-підшипниках, він з'єднаний з валом електродвигуна приводу преса. Проміжний вал-шестерня обертається в конічних ролико-підшипниках, розміщених у гніздах станини. На цьому ж валу жорстко закріплено зубчасте колесо, постійно зчеплене з швидкохідним валом-шестернею. Порожній тихохідний вал, виконаний за одне з фланцем,

обертається в конічних ролико-підшипниках, розміщених у склянках. На тихохідному валу жорстко закріплено зубчасте колесо, постійно зчеплене з проміжним валом-шестернею. Від осьового переміщення зубчасте колесо стопориться гайкою.

Змішувач представляє собою горизонтальний циліндр з патрубками для підведення води/пари. Робочим органом служить змішувач, розташований по осі циліндра і обертається на двох підшипниках, який приводиться в рух за допомогою клинопасової передачі від електродвигуна, що встановлений на плиті, шарнірно прикріпленій до циліндра. Зміною положення цієї плити регулюється натяг ременів. При виході в змішувач продукт зволожується водою/парою, що подається через гребінку.

Прес-гранулятор, працюючий за принципом роликового пресування, здійснює продавлювання сировини в калібровані отвори обертової матриці, затискаючи сировину між матрицею і нерухомими роликами, після чого зрізається на виході спеціальними ножами. Зміна положення ножів регулює необхідну довжину пресованих гранул. Діаметр гранул регулюється розміром вихідних отворів матриці. При регулюванні діаметру гранул необхідно враховувати, що при зменшенні діаметру знижується продуктивність гранулювання. Зрізані гранули падають вниз і через рукав кожуха виводяться з пресу.

3.7.4 Ділянка охолодження.

Якість гранул зумовлюється температурою сировини та зусиллям пресування – чим вони вище, тим краще якість гранул. Але при досягненні температури пресування понад 120° С відбувається погіршення якості гранул через незворотні процеси в сировині. Після пресування необхідно охолодження гранул для їх кондиціювання. Після охолодження у деяких виробників обладнання в технологічному процесі передбачено очищення гранул від пилу, що істотно покращує якість готового продукту. Через шар гранул вентилятором циклону всмоктується повітря, охолоджуюче гранули, і одночасно відсмоктується частина негранульованого борошна в циклон.

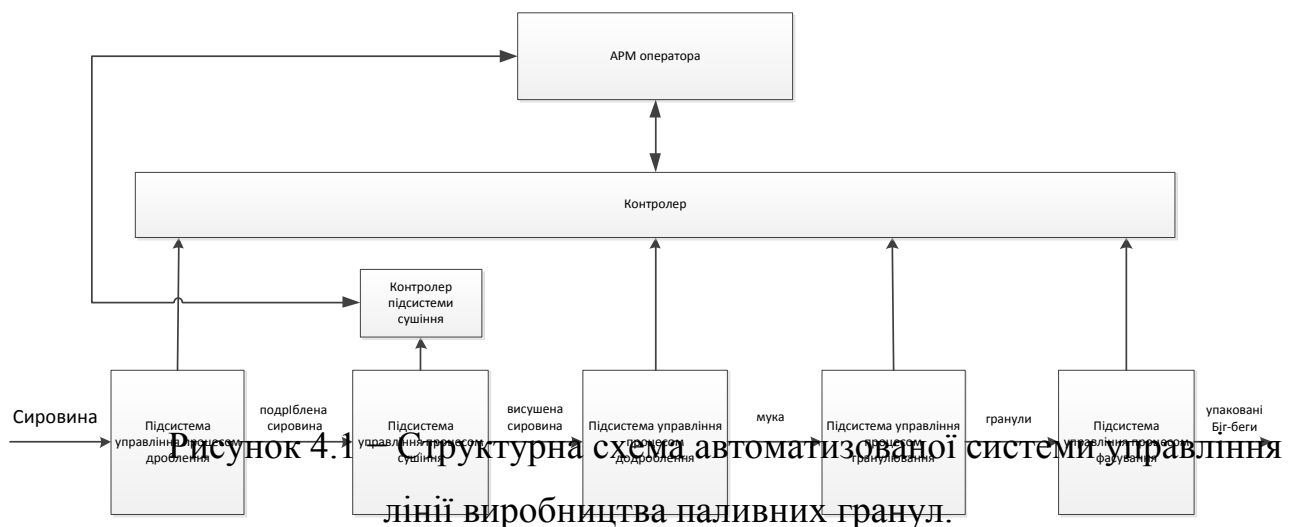
В результаті охолодження вологість гранул мінімізується і гранули набувають необхідну щільність, температуру і вологість. [15]

3.7.5 Ділянка пакування

Процесом пакування керує оператор – підвішує поліетиленові мішки на гачки та слідкує за коректним їх наповненням дозатором. Після цього за допомогою навантажувача або гідравлічного візка мішки направляються на склад готової продукції. Якщо необхідне подальше запаювання мішків (у разі фасування в поліетиленові мішки), вони переміщуються транспортером в зону запаювання. Коли мішок опиняється між зварювальними губками зварювача, конвеєр зупиняється, губки змикаються, і проводиться запаювання. Після цього губки розмикаються, транспортер вмикається і мішок переміщується в зону складування. Оператор, який відповідає за закриття мішка повинен стежити, щоб мішок увійшов в зону запаювання рівно, і в разі необхідності, повинен підправляти його.

4 РОЗРОБКА І ОПИС Структурної схеми автоматизованої системи лінії виробництва ПАЛИВНИХ гранул (ПЕЛЕТ)

Дана структурна схема автоматизованої системи лінії виробництва гранул була розроблена на основі аналізу технологічного процесу виробництва паливних гранул (Рисунок 4.1) .



Перед автоматизованою системою управління стоять такі завдання: автоматичне управління процесом, двигунами і іншими пристроями;

підтримка інтерактивного режиму при відображенні аварійних сигналів; відображення на екрані автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора графіків зміни параметрів в режимі реального часу.

Автоматизована система управління лінії виробництва гранул включає в себе підсистеми управління окремими ділянками виробництва. Основним елементом кожної підсистеми є блок керування, який представляє собою обчислювальний пристрій. Зв'язок кожного блоку керування підсистемами з АРМ оператора здійснюється по шині RS-485. Безперервність процесу виробництва забезпечується розподіленим типом керування, який дозволяє кожній окремій ділянці працювати в автономному режимі.

Виробничий процес розпочинається з подрібнення сировини (ділянка подрібнення). Після цього подріблена сировина висушується (ділянка сушіння). Висушена сировина потрапляє на ділянку повторного подрібнення для перемелення до стану борошна. Потім борошно гранулюється до стану готових гранул (ділянка гранулювання). Далі відбувається упаковка гранул (ділянка фасування). [16]

Для забезпечення виробництва продукції заданої якості та безперебійної роботи технологічного обладнання та підприємства в цілому, виходячи з умов функціонування дерево-обробного підприємства і технологічного процесу виробництва паливних гранул, необхідно розробити вдосконалену автоматизовану систему управління технологічним процесом.

5 РОЗРОБКА І ОПИС функціональної СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ підсистеми управління процесом сушіння сировини

Ґрунтуючись на аналізі технологічного процесу виробництва паливних гранул та розробленій структурній схемі автоматизованої системи лінії виробництва була спроектована функціональна схема автоматизації підсистеми управління процесом сушіння сировини, представлена на схемі IT41.*****.006 Э2.1. та (рисунок 5.1). Головним елементом підсистеми є сушарка, в якій сировина висушується до необхідного стану.



Рисунок 5.1– Функціональна схема підсистеми управління процесом сушіння сировини.

На рисунку 5.1 зображений процес сушіння сировини. Усі розташовані на виробничій лінії датчики – датчик температури, тиску, витратоміри, рівнеміри – мають функціонал дистанційної передачі даних. Датчики передають результати вимірювань на програмований логічний контролер (ПЛК), де отримані дані обчислюються та відображаються на екрані. ПЛК послідовно формує запит кожному датчику, приймає від нього відповідь і зберігає ці дані.

Функціональна схема автоматизації складається з чотирьох контурів управління.

Перший контур – управління подачею сировини та відображення ступеню наповнення дозаторного бункера. Складається з датчику рівня (LT 1-1).

Другий контур – управління подачею сушильного агенту (гарячого повітря, що отримується в наслідок змішування холодного повітря та топкових газів). Він складається з 2 органів управління та 3 датчиків. Робота контуру управління подачею сушильного агенту полягає в правильному змішуванні

повітря з топковими газами для додержання оптимальної температури для процесу сушіння завдяки регулюванню клапанів подачі сушильного агенту (FT 2-1, FT 2-2) та основуючись на результатах вимірювань датчика температури (TT 2-3).

Третій контур – управління сушінням. Складається з 2 датчиків: датчика тиску (PI 3-2) – вимірює розрядження в барабані; датчика температури (TT 3-1). Принцип роботи полягає у постійному опитуванні датчиків PI 3-2 і TT 3-1 у середині сушарки. У разі зростання температури в камері змішувача контролер збільшує подачу з вентилятора холодного повітря або збільшує швидкість подачі вологого матеріалу. У сушарку надходить сушильний агент. Сировина нагрівається і волога, що міститься в ньому випаровується. Сигнал з датчика PI 3-2 та сигнал з датчика витрати відпрацьованого агента (FT 4-1) надходить на ПЛК. Він регулює рівень відкриття клапана відпрацьованого агента.

Четвертий контур – управління розвантаженням сушарки. Складається з 2 органів управління та 2 датчиків: датчика рівня (LT 4-2), витратоміра (FT 4-1), та клапанів відводу відпрацьованого агенту та висушеної сировини. Висушена сировина розвантажується в бункер, а водяні пари та частина дрібнодисперсного матеріалу (пилу) видаляються з сушарки разом з відпрацьованим агентом в атмосферу. На ПЛК передаються дані про рівень наповнення матеріалом бункеру, отримані з датчика рівня (LT 4-2). Вихідний сигнал з контролера впливає на клапан, встановлений на виході з сушарки.

З АРМ оператора здійснюється вибір режиму управління – автоматичного або ручного. При істотних відхиленнях вологості сухого матеріалу від заданого значення у системі передбачений режим сигналізації. При відсутності вхідної сировини спрацьовує сигнал «Стоп», що супроводжується зупиненням механізмів подачі палива і сировини.

6 РОЗРОБКА І ОПИС функціональної СХЕМИ підсистеми управління процесом гранулювання

На базі аналізу технологічного процесу виробництва гранул та керуючись структурною схемою автоматизованої системи лінії виробництва

паливних гранул була розроблена функціональна схема підсистеми управління процесом гранулювання (Рисунок 6.1).

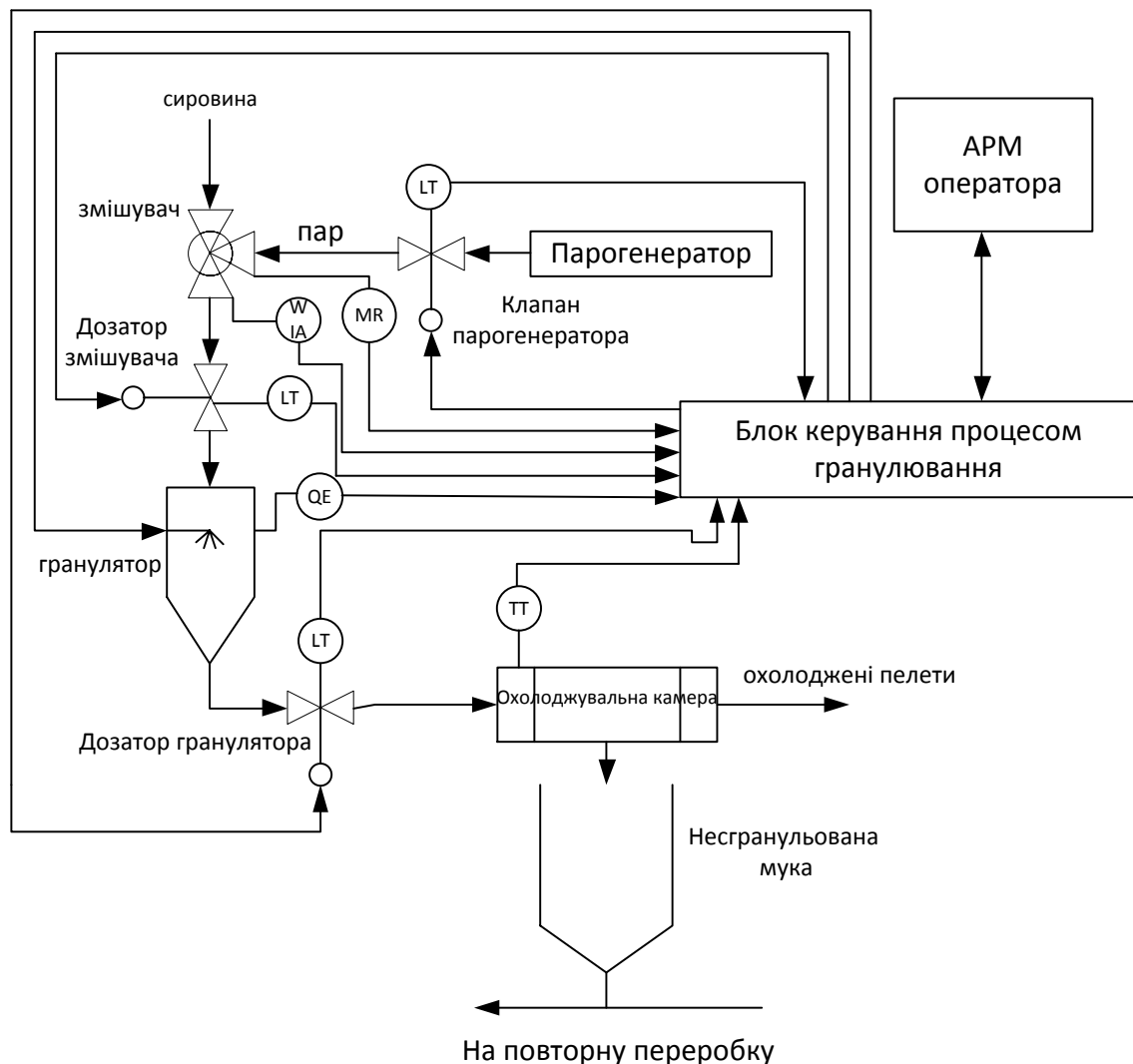


Рисунок 6.1 – Функціональна схема підсистеми управління процесом гранулювання

Початок роботи даної підсистеми – подача конвеєром підготовленої сировини в накопичувач зі змішувачем. Змішувач запобігає злежуванню сировини. Датчик ваги (WIA) визначає рівень сировини у накопичувачі, при досягненні встановленого рівня автоматично включається дозатор, який подає сировину на пресуючі вальці гранулятора.

Якість готових гранул безпосередньо залежить від вологості сировини, що подається у гранулятор, тому для контролю вологості сировини в накопичувачі встановлений датчик вологості (MR) сипучих матеріалів. За його показниками регулюється подача в накопичувач пари. Автоматизована

система без зупинки виробництва і незалежно від роботи обладнання на попередніх ділянках в режимі реального часу витримує оптимальне значення вологості сировини, що подається в прес-гранулятор.[17]

Перед початком безпосередньо гранулювання, протягом декількох секунд відбувається прогрів матриці. При цьому вмикається дозатор, який подає сировину в прес та відкривається клапан подачі сировини в охолоджувальну камеру. Необхідна частота обертання дозатора, що подає сировину в прес, встановлюється за допомогою регулятора частоти в залежності від режиму роботи. Система автоматизації передбачає постійний контроль температури матриці для запобігання перевищення допустимих значень та недопущення виникнення пожежонебезпечної ситуації на виробництві. При перевищенні допустимих температурних значень автоматично збільшується частота обертання пресуючих вальців, що призводить до зниження температури матриці.

На виході з преса пелети мають високу температуру. У такому стані вони крихкі і містять велику кількість залишкової вологи, тому їх направляють в охолоджувальну камеру. При досягненні в камері граничного рівня накопичення починається процес охолодження. Крізь шар пелет вентилятор циклону всмоктує повітря, що охолоджує гранули, та відсмоктує одночасно дрібнофракційні незгранульовані рештки (борошно) та гарячу пару. Температура гранул вимірюється датчиком температури (ТТ). Коли температура падає до необхідного значення, подається керуючий сигнал на гідравлічний лоток, що вивантажує на стрічку конвеєра готові охолоджені пелети. Отримані незгранульовані рештки відправляються на повторну переробку.

З АРМ оператора здійснюється вибір ручного або автоматичного режиму управління. При суттєвих відхиленнях вологості сировини від заданого значення у системі передбачений режим сигналізації. При незапланованому відключенні живлення спрацьовує сигнал «Аварійний стоп» та припиняється робота всієї підсистеми.

7 РОЗРОБКА І ОПИС функціональної СХЕМИ підсистеми управління процесом ПАКУВАННЯ

На базі аналізу технологічного процесу та структурної схеми автоматизованої системи лінії виробництва паливних гранул розроблена функціональна схема підсистеми управління процесом пакування (Рисунок 7.1).

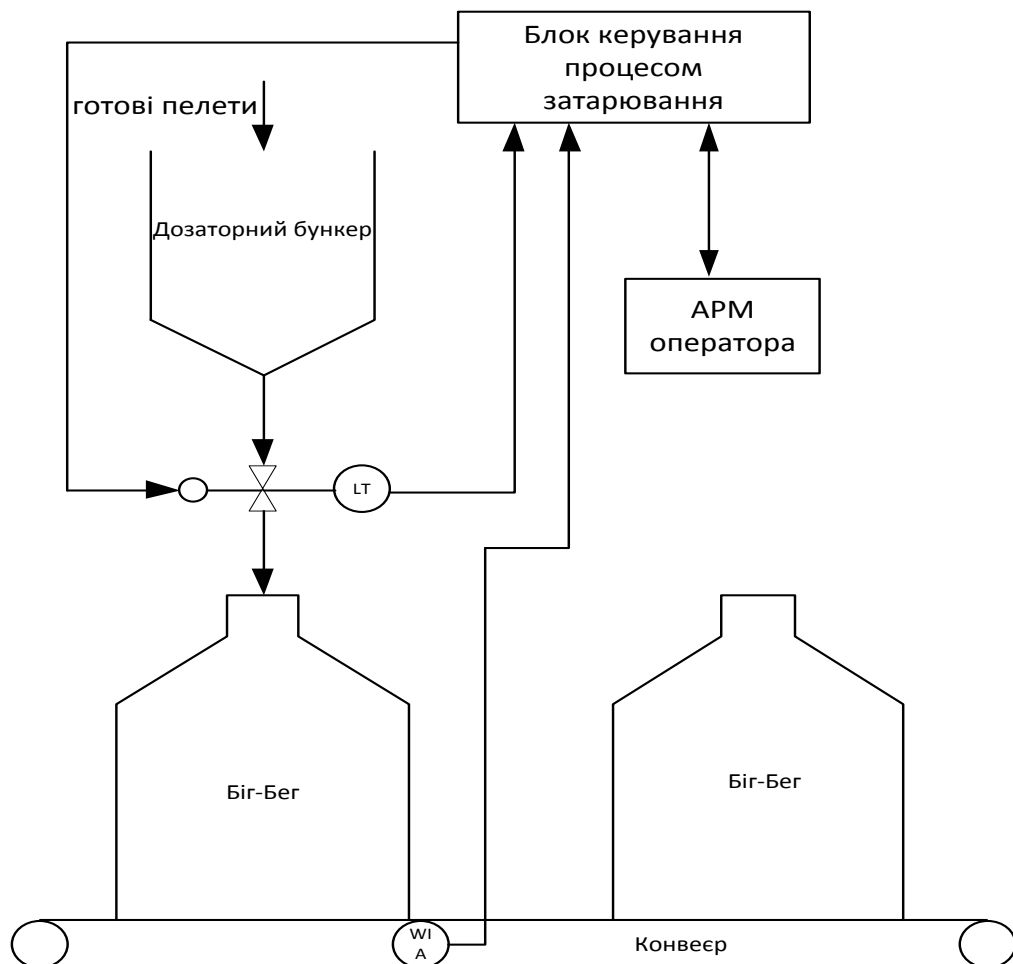


Рисунок 7.1 – Функціональна схема підсистеми управління процесом пакування

Оператор підвішує та фіксує пустий пакувальний мішок на механічний захват та подає сигнал відкрити клапан дозаторного бункера на пульт керування. Регулювання кількості гранул при заповненні мішка відбувається за допомогою конвеєрних вагів (WIA). При досягненні необхідного значення ваги заповненого мішка WIA подає на пульт керування сигнал закрити клапан дозаторного бункеру.

8 РОЗРОБКА І ОПИС функціональної СХЕМИ блоку керування підсистеми управління процесом СУШІННЯ

На основі аналізу технологічного процесу сушіння та керуючись розробленою функціональною схемою підсистеми управління процесом сушіння була спроектована функціональна схема блоку керування підсистеми управління процесом сушіння (Рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Функціональна схема блоку керування підсистемою управління процесом сушіння.

Центральним елементом блоку керування підсистемою управління процесом сушіння являється мікроконтролер (МК). До МК підключаються периферійні пристрої за допомогою блоку регістрів розширення портів вводу-виводу. Частота роботи МК стабілізується кварцовим резонатором.

На МК надходять уніфіковані сигнали від датчиків вологості, температури, ваги, витрат, що розміщені на лінії. Всі датчики цифрові і мають вмонтований аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та напряму підключені до МК.

За допомогою перетворювача RS-485/USB АРМ оператора обмінюється даними з блоком керування. Блок керування оснащений пристроєм перетворення рівнів для узгодження рівнів сигналів МК і сигналів

інтерфейсу RS-485. Посилення сигналів МК, що надходять до дозаторів, клапанів та електродвигунів, здійснюється чотирма транзисторними ключами (ТК). З них сигнали надходять на мікроконтролер, що перетворює сигнали постійного струму в силові напруги, які подаються на клапани та електродвигуни. Таким чином забезпечується висока точність і надійність роботи обладнання.

9 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ І КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

9.1 Опис датчику вологості

На рисунку 9.1 зображений пристрій ДВТ-03.ТЕ для вимірювання вологості середовища. Пристрій застосовується для контролю рівня вологості в складах, сховищах, інкубаторах. Пристрій об'єднує в собі датчик і перетворювач, що обробляє дані, які надходять з датчика, і передає їх через інтерфейс RS-485.



Рисунок 9.1 – Пристрій ДВТ-03.ТЕ для вимірювання вологості

Технічні характеристики приведені в таблиці 9.1

Таблиця 9.1 – Технічні характеристики ДВТ-03.ТЕ

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання вологості	0-98% отн.

Діапазон температури експлуатації	-40...+50 С
Середнє напруцювання на відмову	Не менше 20000 ч.
Захист від впливу пилу і води	IP54

9.2 Опис датчику ваги

НМ2D4 – тензорезисторний датчик (Рисунок 9.2), який призначений для вимірювання зусилля стискання, і використовуються в системах дозування, бункерних вагах, а також в нестандартних ваговимірювальних системах.



Рисунок 9.2 – Цифровий тензорезисторний датчик НМ2D4

Датчик НМ2D4 виконаний зі сталі з антикорозійним покриттям і розрахований на навантаження в діапазоні від 500кг до 20т. Передача даних здійснюється через інтерфейс RS-485. Даний пристрій можна підключати до будь якого персонального комп'ютеру або іншого приладу, він має власний унікальний протокол обміну та дозволяє отримати на виході оброблений і перетворений цифровий сигнал.

Принцип роботи вагового датчику НМ2D4 ґрунтується на перетворенні механічної деформації тіла в електричний сигнал, завдяки чому визначається

рівень стиснення і розтягування конкретного тіла. Він є резистивним перетворювачем, який є одним з найголовніших складових високоточного вагового обладнання.

9.3 Опис датчику температури

Термоперетворювач цифровий ПВП-485Т (Рисунок 9.3) призначений для вимірювального перетворення температури твердих, сипучих, рідких та газоподібних речовин в цифровий сигнал, що передається через інтерфейс RS-485. Дані пристрої в процесі роботи можуть бути переконфігуровані на будь-який з доступних типів НСХ через інтерфейс RS-485 з використанням протоколу MODBUS. Їх застосування дозволяє кардинально скоротити кабельну мережу у порівнянні із застосуванням традиційних термодатчиків з фізичним або струмовим (4 – 20мА) вихідними сигналами. [18]



Рисунок 9.3 – Термоперетворювач ПВП-485Т

9.4 В Опис датчику тиску

DSP-01 (Рисунок 9.4) – цифровий перетворювач тиску, призначений для безперервного перетворення тиску середовища в уніфікований вихідний сигнал постійного струму 4 – 20 мА. Перетворювач обладнаний цифровим дисплеєм, який показує значення тиску середовища у реальному часі, а також герметичним захищеним металевим корпусом. Пристрій оснащено цифровим

HART інтерфейсом, який дозволяє отримувати дані про тиск у аналоговому (4 – 20мА) і у цифровому вигляді.



Рисунок 9.4 – Цифровий перетворювач тиску DSP-01

Технічні характеристики приведені в таблиці 9.2

Таблиця 9.2 – Технічні характеристики DSP-01

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0-25 мПа
Клас точності	0,25
Споживана потужність	<1 В·А
Захист від впливу пилу і води	IP54

9.5 Опис датчику положення

Датчик положення тип SAMSON 4748 (Рисунок 9.5) встановлюється на пневматичні клапани та призначений для перетворення величини ходу (положення) клапана у відповідний електричний сигнал в діапазоні 4–20 мА.

При передачі вихідного сигналу на індикатор контролюється поточна величина робочого ходу.



Рисунок 9.5 – Датчик положення тип SAMSON 4748

9.6 Опис витратоміру

Для контролю витрати сушильного агенту, відпрацьованого агенту та пари застосовуємо цифровий лічильник витрат ВЗЛЕТ ЕМ (Рисунок 9.6).



Рисунок 9.6 – Цифровий лічильник витрат ВЗЛЕТ ЕМ

Пристрій призначений для обліку насиченої та перегрітої пари з температурою до 200 °С і неагресивних газів (повітря, кисень, азот, природний газ і т.п.) на промислових та комунально-побутових об'єктах. Виведення

інформації відбувається по послідовному інтерфейсу RS-485 або на рідкокристалічний символний індикатор.

Особливості пристрою: можливість використання у складі різних комплексів, вимірювальних систем, АСУ ТП; відсутність втрат тиску на вимірювальній ділянці; вимірювання витрати та об'єму реверсивного потоку; наявність режиму дозування;

9.7 Опис мікроконтролеру

Мікроконтролер в блоці управління має відповідати наступним вимогам:

- достатній об'єм оперативної пам'яті для зберігання поточної інформації;
- вбудована постійна пам'ять для зберігання констант технологічного процесу та таблиць параметрів;
- вбудований асинхронний приймач-передавач, сумісний з інтерфейсом RS-485;
- достатня кількість вільних ліній вводу-виводу для підключення АЦП і транзисторних ключів.

Цим вимогам відповідає однокристальний 8-розрядний мікроконтролер ATmega328 на базі AVR-архітектурі RISC. Схема має 23 лінії вводу-виводу, 8-канальний АЦП, 2 програмованих послідовних універсальних асинхронних приємо-передатчика, компаратор і контрольний таймер, один 16-розрядний таймер/лічильник та 2 таймера/лічильника 8-розрядних. Також схема має функції скидання при включенні живлення і 6 режимів сну: холостий ход, зниження шуму АЦП, режим економії енергії, відключення живлення, режим очікування і розширений режим очікування. Програми можуть перепрограмовуватися (ISP) і зберігаються в пам'яті Flash EPROM. Виконання однієї повноцінної інструкції за один такт, який може досягати продуктивності 1 MIPS на 1МГц, дозволяє досягти оптимального співвідношення між споживанням енергії та продуктивністю. [7]

Мікроконтролер ATmega328 має характеристики, достатні для вирішення поставленого завдання, і можливості щодо забезпечення гнучкості та модернізації системи в майбутньому.

9.8 Опис пристрою перетворення рівнів

В якості інтерфейсу передачі даних між блоками системи застосовується послідовний інтерфейс RS-485, оскільки інтерфейс зв'язку RS-485 являється найбільш широко використовуваним промисловим стандартом, які використовують двонаправлену збалансовану лінію передачі. RS-485 підтримує багатоточкові сполуки, забезпечуючи створення мереж з кількістю вузлів до 256 і передачу даних на відстань до 1200 м. Збільшити відстань передачі на 1200 м або додати ще 256 вузлів дозволяє використання повторювачів RS-485. Стандарт RS-485 підтримує напівдуплексний зв'язок.

Для узгодження рівнів сигналів мікроконтролеру ATmega328 і рівнів сигналів інтерфейсу RS-485 доцільно використовувати мікросхему перетворювача рівня типу MAX485 з максимальною кількістю підключаємих вузлів 32 та максимальною швидкістю передачі даних 2,5Мбіт/с, що достатньо для передачі даних між блоками системи. Мікросхема вимагає установки на плату лише одного додаткового елементу – хвильового опору номіналом 56 Ом.

10 РОЗРОБКА І ОПИС ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ БЛОКУ КЕРУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ

Грунтуючись на функціональній схемі блоку керування підсистеми управління процесом сушіння була спроектована принципова електрична схема блоку керування підсистеми управління процесом сушіння (Рисунок 10.1).

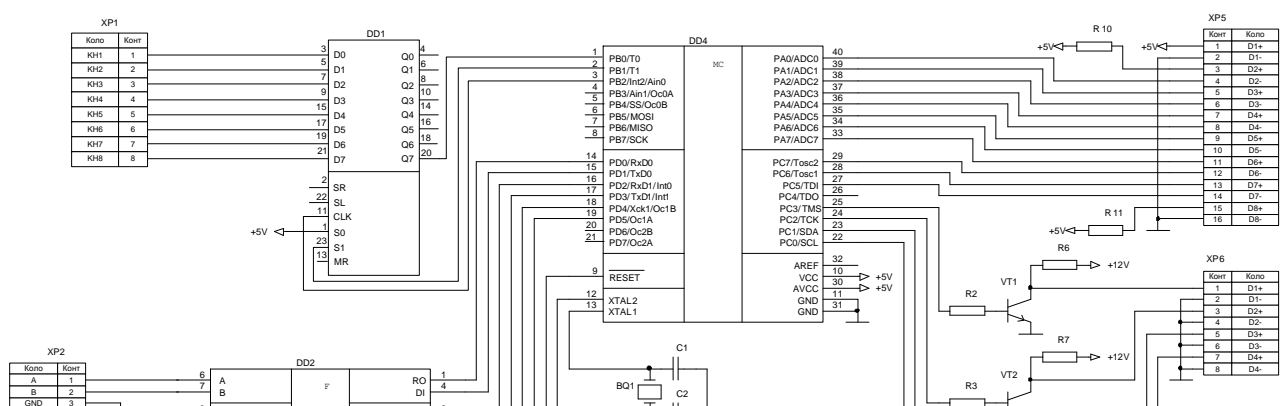


Рисунок 10.1 – Схема електрична принципова

Центральним елементом схеми - мікроконтролер, представлений мікросхемою DD4. Необхідна для його роботи тактова частота формується генератором, зібраним на кварцовому резонаторі BQ1 і конденсаторах C1 і C2.

DD2, DD3 - мікросхеми, що перетворюють рівні цифрових сигналів мікроконтролера в диференціальні сигнали двухпроводного інтерфейсу RS-485. Це малопотужні трансівери, що мають приймально-передавальний тракт, вхід приймача захищений від високочастотних електромагнітних завад і має високий рівень відмовостійкості. Живлення всіх компонентів здійснюється від одного джерела напругою 5В. Для керування напрямком передачі даних мікросхеми DD2, DD3 оснащені інверсними входами RE (вивід 2) і DE (вивід 3). Для підключення ліній інтерфейсу RS-485 служать роз'єми XP2 та XP3. Резистор R1 і конденсатор C3 утворюють пасивну інтегруючу ланку і формують затримку запуску мікроконтролера DD4, після подачі живлення. Для з'єднання ПКІ з керуючою системою використовується роз'єм XP5, паралельна синхронна шина.

Резистор R10 відповідає за обмеження контрасту на рідкокристалічному індикаторі, а резистор R11 – за обмеження яскравості. Резистори R2-R9 і транзистори VT1-VT4 утворюють транзисторні ключі, що посилюють сигнали мікроконтролера для передачі на електричні пускачі. Резистори R2-R5 обмежують струм бази транзисторів VT1-VT4 відповідно.

Роз'єм XP6 служить для виведення сигналів з транзисторних ключів на електричні пускачі та подачі живлення + 12В. Роз'єм XP4 служить для подачі живлення в блок керування.

DD3 - блок зсувних регістрів, на якому здійснюється паралельна і послідовна передача даних. XP1 – роз'єм для з'єднання клавіатури з керуючою системою. Резистори R12-R19 необхідні для реалізації клавіатури.

11 РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

11.1 Розробка математичної моделі

Для аналізу системи автоматичного управління (САУ) оберемо систему підтримки температури в охолоджуючій камері на заданому рівні. Після аналізу охолоджуючої колонки як об'єкту управління бачимо, що температура в ній залежить від витрати пари. Враховуючи це, отримуємо замкнуту систему, на вході якої маємо температуру, а на виході - отримане значення цієї температури.

Значення відхилення, на основі якого регулятор збільшує або зменшує значення сигналу управління, що подається на виконавчі механізми, розраховується на підставі різниці заданого значення температури та вихідного значення. В даному випадку регулюючий клапан витрати пари, який задається сигналом, для якого є рівень напруги від регулятора, прямо пропорційний сигналу відхилення в межах регулювання. При виході значення потокової температури за межі заданого, завдяки отриманому сигналу відхилення здійснюється додаткове напруження на регулюючому клапані, що змушує його зменшувати або збільшувати розмір випускного каналу. На виході виконавчого механізму отримується певний рівень витрати пари, який є задаючим для об'єкта управління і залежно від нього на виході формується скориговане значення температури. Таким чином спроектований контур регулювання дозволяє компенсувати відхилення потокової температури від заданої.

На підставі опису системи регулювання температури розробляється структурна схема системи. [3]

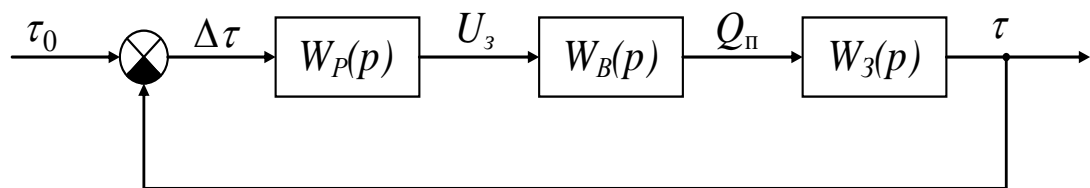


Рисунок 11.1 – Структурна схема САУ температури в охолоджуючій колонці

Де:

τ_0 – задана температура;

$\Delta \tau$ – температура відхилення;

$w_p(p)$ – передавальна функція регулюючого органу;

U_3 – керуючий сигнал;

$w_n(p)$ – передавальна функція клапана;

Q_{π} – отримана витрата пари;

$W_3(p)$ – передавальна функція установки;

τ – отримане значення температури.

Рівняння динаміки елементів САУ:

$$\begin{cases} T_s \frac{dS}{dt} + S = k_s \cdot U_3 \\ T_Q \frac{dQ_K}{dt} + Q_K = k_Q \cdot S \end{cases} \quad \text{– регулюючий вентиль};$$

$$U_3 = k_p \cdot \Delta \tau \quad \text{– регулятор};$$

$$T_T \frac{dT}{dt} + T = k_T \cdot Q_{II} \quad \text{– установка}.$$

Фізичний зміст змінних, які входять в рівняння, наступний:

параметри T_s, T_Q, T_T – постійні часу;

параметри k_p, k_s, k_Q, k_T – передавальні коефіцієнти відповідних елементів.

Їх значення наведені в таблиці 11.1

Таблиця 11.1 – Значення параметрів для розрахунку САУ

Назва параметра	Обозначення	Значення
Постійна часу реакції площі зрізу вентиля відповідно СУ	T_s	0,032 с
Постійна часу реакції кількості пари на ступінь відкриття вентиля	T_Q	0,9с
Постійна часу реакції температури в змішувачі на зміну кількості пари	T_T	28с
Коефіцієнт перетворення відхилення в сигнал управління (СУ)	k_p	0,029 В/°С

Коефіцієнт залежності площі поперечного зрізу вентилі відповідно СУ	k_s	$2,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В}$
Коефіцієнт залежності кількості пари від ступеня відкриття вентилі	k_Q	8 м/с
Коефіцієнт залежності температури в змішувачі від кількості зміни пари	k_T	$3,3 \cdot 10^2 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с/м}^3$

Об'єктом регулювання є охолоджуюча камера, температура в якій прямо пропорційна витраті пари. Динамічні властивості елемента описуються рівнянням (11.1):

$$T_T \frac{dT}{dt} + T = k_T \cdot Q_{II} \quad (11.1)$$

Зробивши заміну $\frac{d}{dt} \rightarrow p$, як результат відношення зображення вихідного сигналу до зображення вхідного сигналу, отримуємо передавальну функцію установки:

$$W_c(p) = \frac{k_T}{T_T \cdot p + 1} = \frac{330}{28p + 1} \quad (11.2)$$

Керуючий елемент – вентиль, для якого вхідним параметром є рівень отриманого сигналу, а вихідним - кількість пари. Керуючий елемент буде описуватися таким рівнянням:

$$\begin{cases} T_s \frac{dS}{dt} + S = k_s \cdot U_3 \\ T_Q \frac{dQ_K}{dt} + Q_K = k_Q \cdot S \end{cases} \quad (11.3)$$

де:

Q_K – кількість пари, що проходить через канал;

S – площа поперечного зрізу каналу.

Зробивши заміну $\frac{d}{dt} \rightarrow p$, як результат відношення зображення вихідного сигналу до зображення вхідного сигналу отримується передавальна функція даної охолоджуючої колонки:

$$W_B(p) = \frac{k_s \cdot k_Q}{(T_s p + 1)(T_Q p + 1)} = \frac{0,21}{0,028p^2 + 0,932p + 1} \quad (11.4)$$

Орган управління – регулятор, отримуваний ним сигнал є прямо пропорційним величині відхилення. Елемент описується наступним рівнянням (11.5).

$$U_3 = k_p \cdot \Delta \tau \quad (11.5)$$

В результаті співвідношення зображення вихідного сигналу до вхідного сигналу, отримуємо передавальну функцію:

$$W_p(p) = k_p = 0,029 \cdot$$

Після визначення передавальних функцій всіх елементів визначається розімкнута передавальна функція САУ температури в охолоджуючій камері.

При послідовному з'єднанні ланок результуюча передавальна функція визначається як добуток передавальних функцій ланцюгів:

$$W(p) = \frac{k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_p}{(T_T p + 1)(T_S p + 1)(T_Q p + 1)} = \frac{2}{0,784 p^3 + 26,028 p^2 + 28,932 p + 1} \quad (11.6)$$

Передавальна функція замкнутої системи для структурної схеми зі зворотним зв'язком має наступний вигляд:

$$W_z(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{oc}(p)} \quad (11.7)$$

де $W_{oc}(p)$ – передавальна функція ланки зворотного зв'язку, яка в цьому випадку дорівнює 1. Тоді передавальна функція замкнутої автоматичної системи управління (АСУ):

$$W_z(p) = \frac{2}{0,784 p^3 + 26,028 p^2 + 28,932 p + 3}$$

Для того щоб записати характеристичне рівняння потрібно прирівняти знаменник передавальної функції замкнутої системи до 0:

$$0,784 p^3 + 26,028 p^2 + 28,932 p + 3 = 0$$

11.2 Визначення стійкості системи за критерієм Гурвіца

Одним з методів оцінювання стійкості замкнутої системи є критерій Гурвіца, згідно з яким умови стійкості системи формуються таким чином: всі корені характеристичного рівняння $a_0 p^n + \dots + a_{n+1} p + a_n = 0$ матимуть негативні дійсні частини, якщо при позитивному знаку всіх коефіцієнтів $a_0 \dots a_n$ буде позитивним визначник, $\Delta_n > 0$ і його діагональні мінори $\Delta_{n-1} > 0, \dots, \Delta_2 > 0$.

Характеристичне рівняння для даної САУ має наступний вигляд:

$$0,784 p^3 + 26,028 p^2 + 28,932 p + 3 = 0$$

Оскільки всі коефіцієнти характеристичного рівняння є позитивними ($a_0 > 0, \dots, a_n > 0$), то потрібно перевірити чи є позитивними визначник і його діагональні мінори. Матриця Гурвіца для рівняння виду $a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0$ записується у вигляді:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}.$$

Діагональні мінори записуються у вигляді:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 26,028 & 1 \\ 0,784 & 28,932 \end{vmatrix} = 753 - 0,784 = 752,3;$$

$$\Delta_1 = |a_1| = 26,028.$$

Визначник має наступний вигляд:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 26,028 & 1 & 0 \\ 0,784 & 28,932 & 0 \\ 0 & 26,028 & 3 \end{vmatrix} = 2259,13 - 2,352 = 2256,8$$

Таким чином можна зробити висновок, що система є стійкою, так як визначник і його діагональні мінори є позитивними. [4]

11.3 Визначення стійкості системи за критерієм Найквіста

Одним з частотних методів визначення стійкості автоматичних систем регулювання є критерій Найквіста, який дозволяє визначити стійкість замкнутої системи за допомогою амплітудно-фазової характеристики (АФХ) розімкнутої системи. Згідно з цим критерієм для того, щоб автоматична система регулювання, стійка в розімкнутому стані, залишалася стійкою в замкненому стані, необхідно і достатньо того, щоб АФХ розімкнутої системи при зміні від 0 до ∞ не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$. [5]

Характеристичне рівняння для розімкнутої АСУ виглядає наступним чином:

$$0,784p^3 + 26,028p^2 + 28,932p + 1 = 0.$$

Через заміну $p \rightarrow j\omega$ передавальна функція розімкнутої системи приводиться до такого виду:

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$$

$$W(j\omega) = \frac{2}{0,784j^3\omega^3 + 26,028j^2\omega^2 + 28,932j\omega + 1}.$$

Згрупувавши елементи дійсної та уявної частин та провівши заміну $j = \sqrt{-1}$

виражається:
$$W(j\omega) = \frac{2 + j0}{(1 - 26,028\omega^2) + j(28,932\omega - 0,784\omega^3)}.$$

Якщо
$$W(j\omega) = \frac{C(\omega) + jD(\omega)}{E(\omega) + jF(\omega)},$$
 згідно зі схемою типових перетворень, дійсна і уявна

частини визначаються за формулами:

$$V(\omega) = \frac{D(\omega) \cdot E(\omega) - C(\omega) \cdot F(\omega)}{E^2(\omega) + F^2(\omega)}$$

$$U(\omega) = \frac{C(\omega) \cdot E(\omega) + D(\omega) \cdot F(\omega)}{E^2(\omega) + F^2(\omega)}.$$

(11.8)

У даному випадку отримуємо наступне:

$$C(\omega) = 2; D(\omega) = 0 \quad E(\omega) = (1 - 26,028\omega^2); \quad F(\omega) = (28,932\omega - 0,784\omega^3).$$

Для побудови АФХ розімкнутої системи приведемо передавальну функцію до вигляду $W(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$, застосувавши формули визначення АЧХ і ФЧХ:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}; \quad \varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}.$$

(11.9)

Підставивши значення всіх параметрів АСУ і змінюючи ω від 0 до ∞ , будується АФХ розімкнутої системи (Рисунок 11.2).

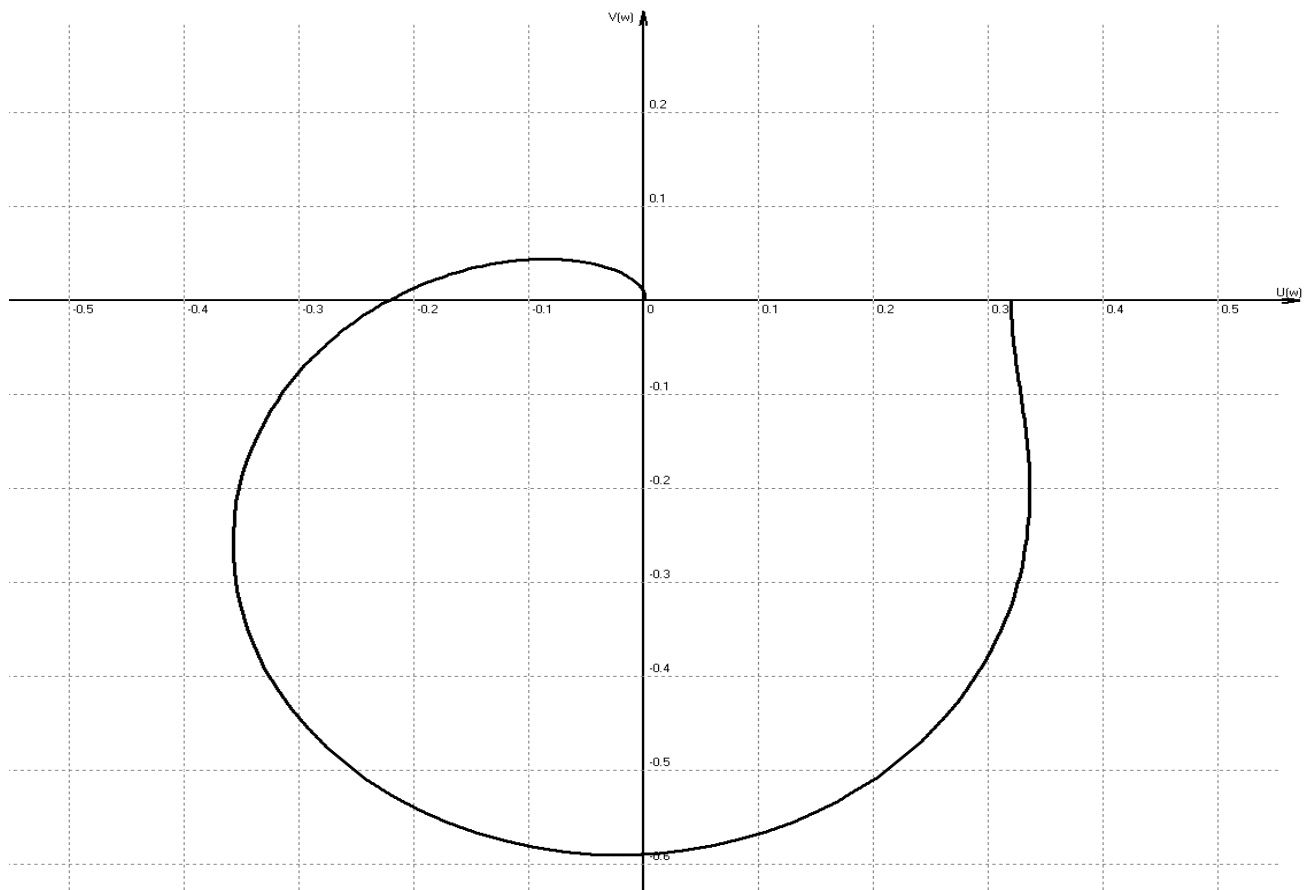


Рисунок 11.2 – Амплітудно – фазова характеристика САУ

З рисунку 11.2 видно, що АФХ розімкнутої системи не охоплює точку $(-1; j_0)$, а тому розімкнута система є стійкою.

11.4 Визначення стійкості системи згідно критерію Михайлова

Згідно з критерієм Михайлова для стійкої САУ необхідно, щоб радіус-вектор годографа Михайлова при зміні частот від 0 до $+\infty$, почавши обертання з точки, що лежить на дійсній осі, обертаючись проти годинникової стрілки і ніде не перетворюючись на нуль, пройшов послідовно n квадрантів площини, де n – порядок характеристичного рівняння. [6] Виділимо характеристичне рівняння САУ і прирівняємо знаменник передавальної функції замкнутої системи до нуля:

$$0,784p^3 + 26,028p^2 + 28,932p + 3 = 0$$

Зробимо заміну $p \rightarrow jw$, де $j = \sqrt{-1}$ і приведемо всі частини рівняння, дійсні та уявні, до такого виду:

$$(3 - 26,028w^2) + j(28,932w - 0,784w^3)$$

Дійсна частина характеристичного рівняння позначається через $U(w)$, уявна – через $V(w)$. Змінюючи ω від 0 до ∞ , будується годограф Михайлова (Рисунок 11.3).

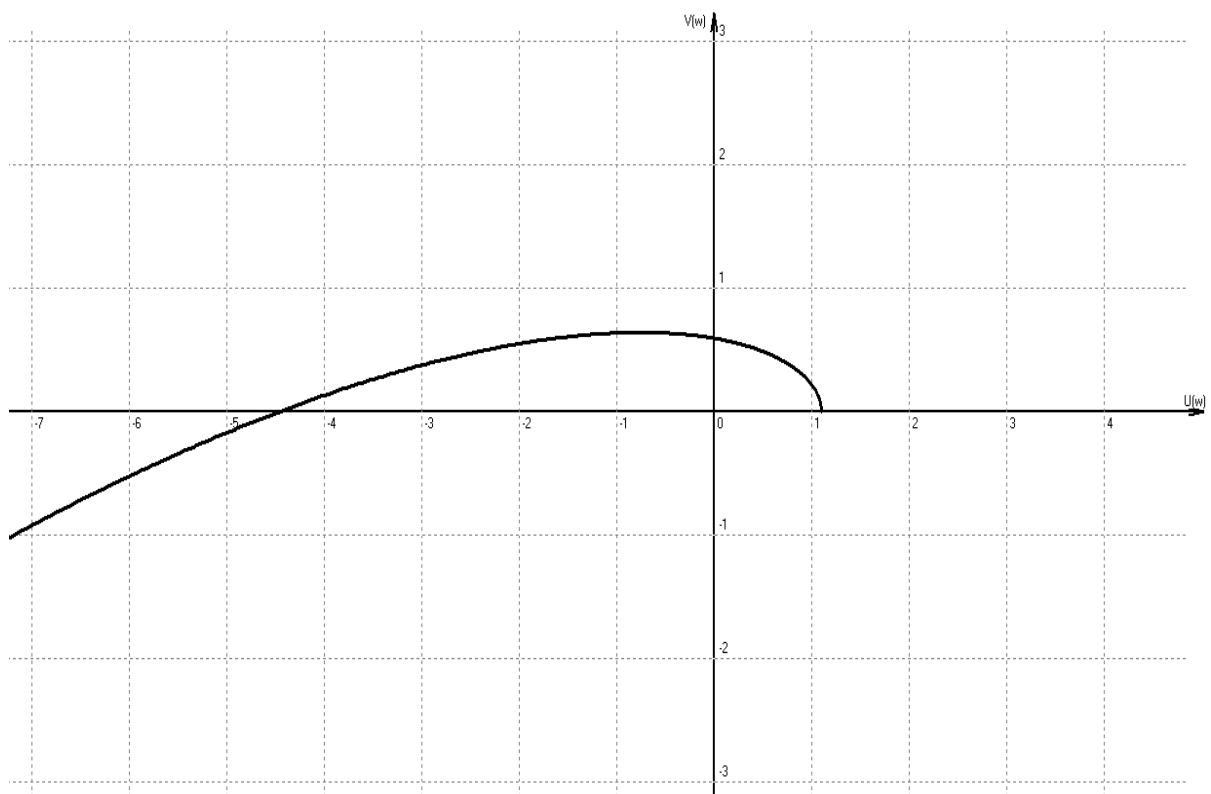


Рисунок 11.3 – Годограф Михайлова

Годограф Михайлова на кінцях кривої має:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} U(w) = -\infty$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} V(w) = -\infty$$

З побудованого годографу Михайлова підтверджується висновок, що дана САУ є стійкою, оскільки радіус-вектор годографу Михайлова проходить через три квадранти, при порядку характеристичного рівняння рівному 3. При подальшому збільшенні частоти радіус-вектор прагне до ∞ .

11.5 Побудова логарифмічних характеристик

Для побудови логарифмічної амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і логарифмічної фазо-частотної характеристики (ЛФЧХ), записується передавальна функція розімкнутої системи регулювання у наступному вигляді:

$$W(p) = \frac{k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P}{(T_T p + 1)(T_S p + 1)(T_Q p + 1)} \quad (11.10)$$

Провівши заміну $p \rightarrow j\omega$ отримуємо:

$$W(j\omega) = \frac{k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P}{(T_T \cdot j\omega + 1)(T_S \cdot j\omega + 1)(T_Q \cdot j\omega + 1)} \quad (11.11)$$

Значення модуля $W(j\omega)$:

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P}{\sqrt{T_T^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{T_S^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{T_Q^2 \omega^2 + 1}} \quad (11.12)$$

Згідно умови $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$ записуємо АЧХ:

$$L(\omega) = 20 \lg(k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P) - 20 \lg \sqrt{T_T^2 \omega^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{T_S^2 \omega^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{T_Q^2 \omega^2 + 1} \quad (11.13)$$

Та визначаємо частоту зрізу АЧХ:

$$\omega = \frac{1}{T_T} = 0,035 \text{ c}^{-1}; \quad \omega = \frac{1}{T_Q} = 1,11 \text{ c}^{-1}; \quad \omega = \frac{1}{T_S} = 31,25 \text{ c}^{-1}.$$

Згідно з наведеними вище розрахунками АЧХ будується в логарифмічній системі координат (Рисунок 11.4).

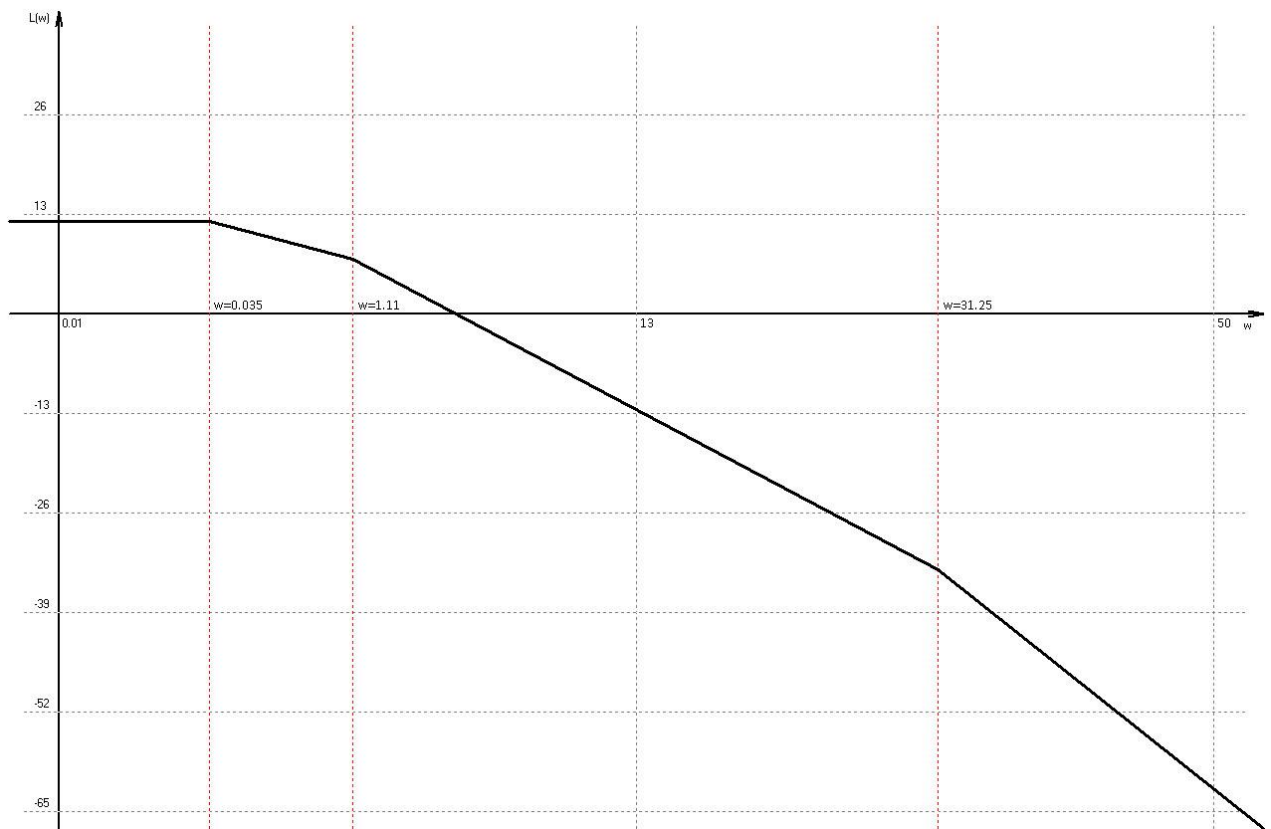


Рисунок 11.4 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика САУ

ЛФЧХ САУ є сумою логарифмічна фазо-частотних характеристик окремих складових. Тобто для побудови загальної характеристики досить окремо побудувати ЛФЧХ окремих ланок і потім їх підсумувати.

Розбиваємо передавальну функцію розімкнутої системи на окремі прості складові:

$$W(j\omega) = k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P \cdot \frac{1}{T_T \cdot j\omega + 1} \cdot \frac{1}{T_S \cdot j\omega + 1} \cdot \frac{1}{T_Q \cdot j\omega + 1} \quad (11.14)$$

З наведеної вище нерівності (11.14) складаємо систему рівнянь для визначення ЛФЧХ:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_0(\omega) = \arctg \frac{0}{k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P} = 0 \\ \varphi_1(\omega) = -\arctg T_T \omega \\ \varphi_2(\omega) = -\arctg T_S \omega \\ \varphi_3(\omega) = -\arctg T_Q \omega \end{array} \right. \quad (11.15)$$

Провівши алгебраїчне підсумовування характеристик окремих частин отримуємо ЛФЧХ розімкнутої системи, зображеної на рисунку 11.5.

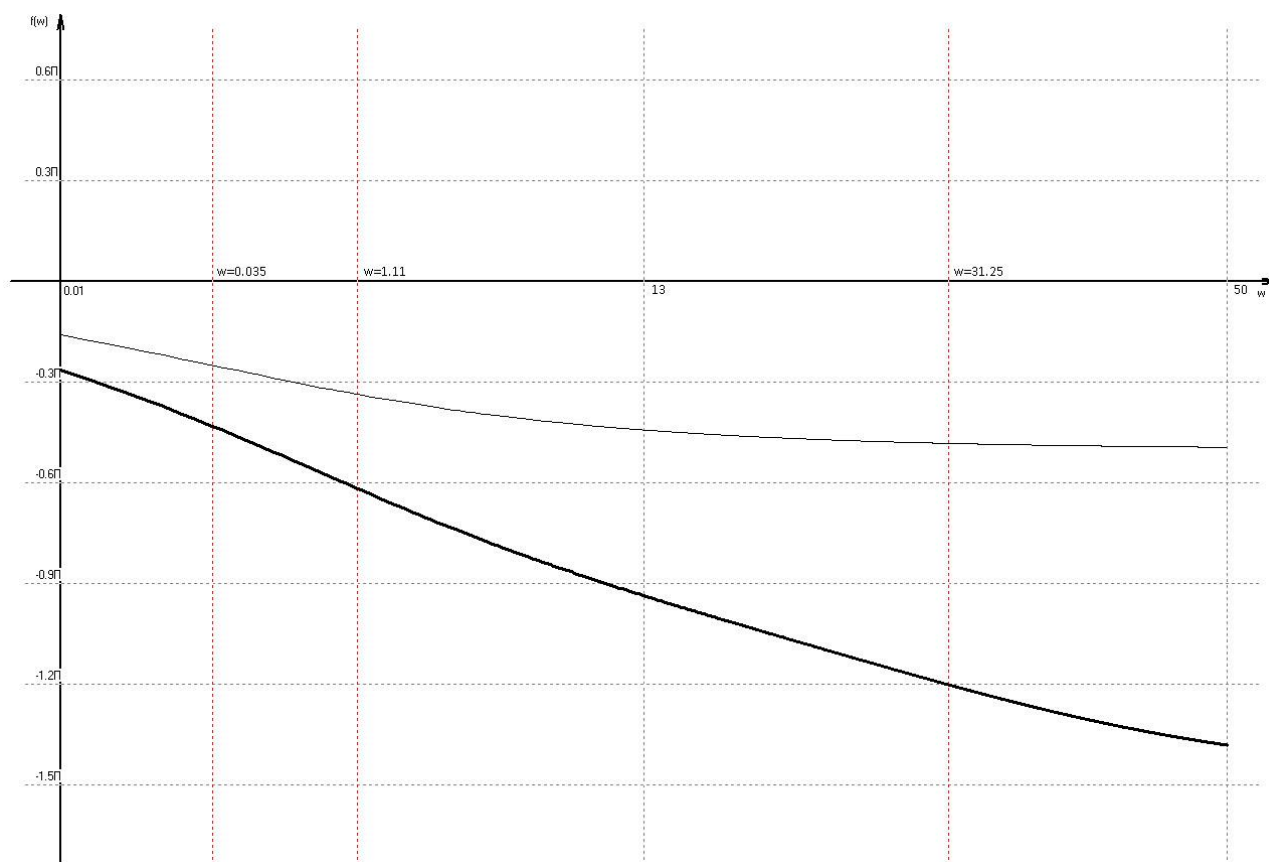


Рисунок 11.5 – Логарифмічна фазо-частотна характеристика САУ

Можна зробити висновок, що дана САУ є стійкою, оскільки при значенні ω ($\omega=\infty$), при якому ЛФЧХ досягає значення $-\pi$, АЧХ набуває від'ємного значення.

11.6 Аналіз якості системи і синтез регулятора

Для аналізу показників якості системи застосуємо інструмент LTI Viewer з пакету MATLAB. Перехідний процес з відображенням показників якості зображений на рисунку 11.6.

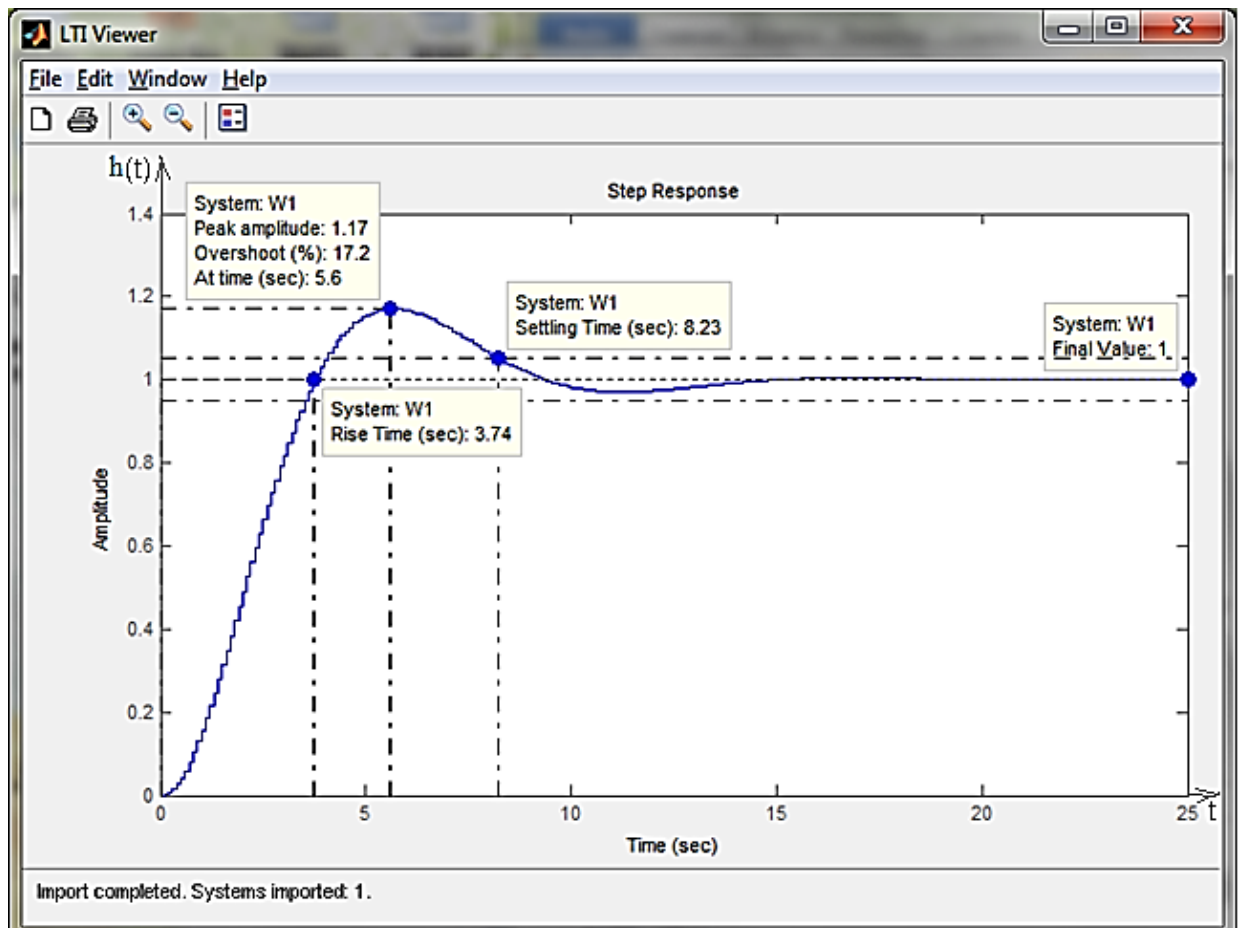


Рисунок 11.6 – Перехідний процес з відображенням показників якості

Показники якості перехідного процесу:

- час встановлення, $t_{уст} = 3,74$ с;
- час перехідного процесу, $t_{пп} = 8,23$ с;
- максимальна амплітуда, $y_{max} = 1,17$;
- перерегулювання, 17,2%;
- встановлене значення перехідного процесу, $y_{уст} = 1$;
- встановлена помилка, $\epsilon_{уст} = 0$.

Оскільки система має великий час встановлення і час перехідного процесу, а також значне перерегулювання, необхідно розробити коригуючий пристрій у вигляді регулятора.

Підбір оптимальних коефіцієнтів регулятора виконуємо за допомогою SignalConstraint туббоксу Simulink. Будуємо наступну схему:

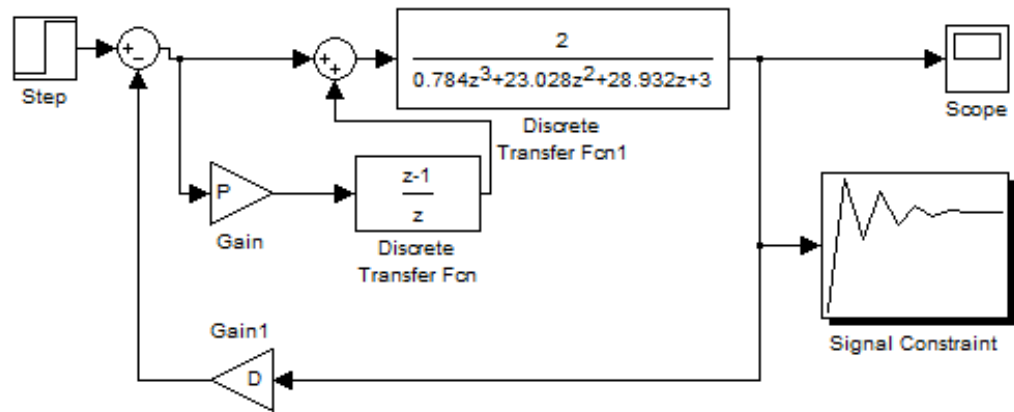


Рисунок 11.7 – Схема системи з цифровим регулятором

Результат підбору:

$$D = 59,0100$$

$$P = 4,4120$$

Для порівняння перехідних процесів системи з цифровим регулятором і системи без регулятора проводимо порівняння за допомогою схеми, зображеної на рисунку 11.8.

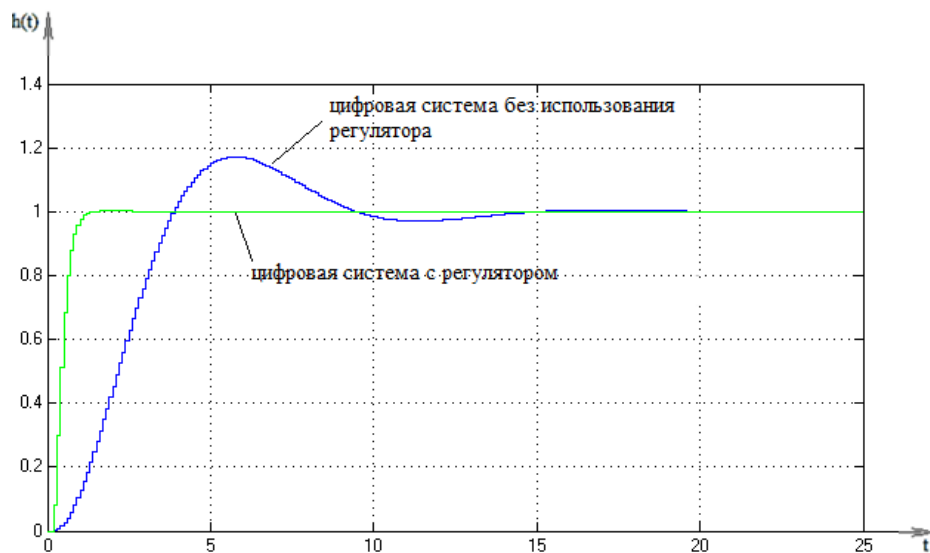


Рисунок 11.8 – Перехідний процес з регулятором і без регулятора

Далі необхідно знайти показники якості отриманої системи. Для цього знаходимо загальну передавальну функцію за формулою (11.16):

$$W_{\text{общ}}(z) = W_{\text{рег}}(z) * W_{\text{пбч}}(z). \quad (11.16)$$

За допомогою функціоналу MATLAB, зробивши аналіз застосувавши пакет LTI View отримуємо такі показники (Рисунок 11.9):

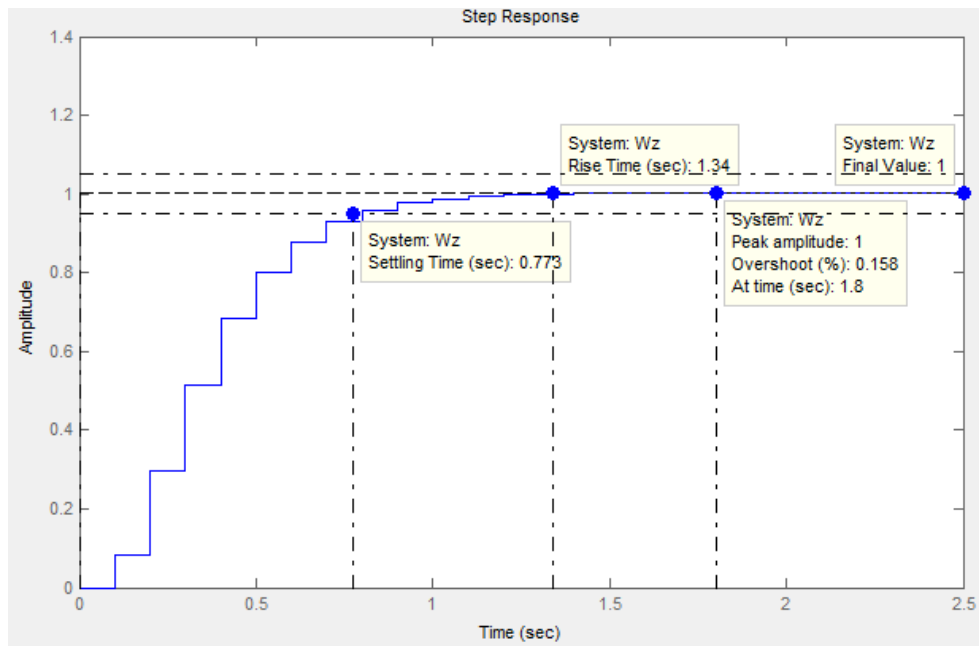


Рисунок 11.9 – Перехідний процес цифрової системи з відображеними показниками якості при використанні регулятора

- час встановлення, $t_{уст} = 0,773$ с;
- час перехідного процесу, $t_{пп} = 1,34$ с;
- максимальна амплітуда, $u_{max} = 1$;
- перерегулювання – 0,158%;
- встановлене значення перехідного процесу, $u_{уст} = 1$;
- встановлена помилка, $\epsilon_{уст} = 0$.

З цих значень бачимо, що регулятор забезпечує поліпшення перехідного процесу зменшуючи перерегулювання з 17,2 % до 0,158 %, час перехідного процесу з 8,23 с до 1,34 с і час встановлення з 3,74 с до 0,773 с.

12 Розрахунки надійності системи

Надійність пристрою забезпечується його правильним конструюванням – шляхом правильного вибору технологій, вихідних матеріалів і комплектуючих пристрою. Шляхом застосування правильних

режимів зберігання й експлуатації, планомірним обслуговуванням і ремонтом досягається збереження надійності пристрою.

Поняття коефіцієнта навантаження характеризує електричний режим елемента та демонструє відношення значення параметра, який характеризує роботу елемента в реальному режимі, до його номінального значення, передбаченого технічними умовами. Визначення коефіцієнта навантаження елементів обчислюється за наступними формулами. [8]

Для мікросхеми:

$$K_H = \frac{K_p}{K_{p_H}}, \quad (12.1)$$

де:

K_p – коефіцієнт розгалуження робочий;

K_{p_H} – коефіцієнт розгалуження номінальний.

Для конденсатора:

$$K_H = \frac{U}{U_H}, \quad (12.2)$$

де:

U – напруга приведена робоча;

U_H – напруга приведена номінальна.

Для резистора:

$$K_H = \frac{P}{P_H}, \quad (12.3)$$

де:

P – потужність розсіювана робоча;

P_H – потужність розсіювана номінальна.

Для транзистора:

$$K_H = \frac{P}{P_H}, \quad (12.4)$$

де:

P – потужність розсіювана робоча;

P_H – потужність розсіювана номінальна.

При остаточному розрахунку враховується кількість проводів і пайок у пристрої. Кількість проводів обраховується за принциповою схемою в співвідношенні 5/8 від загальної кількості контактів всіх елементів. Одержати кількість пайок можна подвоївши кількість проводів.

Остаточний розрахунок ґрунтується на таких припущеннях:

- відмови елементів є незалежними та випадковими подіями;
- наслідком відмови будь-якого елемента пристрою є відмова всього пристрою;
- інтенсивність відмов всіх елементів не змінюється з часом, тобто старіння елементів не відбувається ($\lambda_{oi} = \text{const}$).

Для проведення остаточного розрахунку надійності потрібні:

- принципова електрична схема;
- перелік елементів, з яких складається пристрої;
- дані про інтенсивність відмов елементів;
- кількість елементів по типах;
- поправочні коефіцієнти.

Загальна інтенсивність відмов системи визначається за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^m N_i \cdot \lambda_{oi} \cdot a_i, \quad (12.5)$$

де:

m – кількість типів елементів;

N_i – кількість однотипних елементів;

λ_{oi} – номінальна інтенсивність відмов елементів i -го типу;

a_i – коефіцієнт, що обчислює по формулі:

$$a_i = K_{H_i} \cdot h_i + 1, \quad (12.6)$$

де:

K_H – коефіцієнт навантаження;

h_i – поправочний коефіцієнт.

Імовірність безвідмовної роботи пристрою визначається за наступною формулою:

$$P = e^{\sum_{i=1}^m -N_i \cdot \lambda_{oi} \cdot a_i \cdot t}, \quad (12.7)$$

Дані, необхідні для розрахунку надійності пристрою, зведені в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Дані для розрахунку надійності пристрою

№	Назва елемента	Тип елемента	К-сть, шт.	Інтенсивність відмов, $\lambda_{oi} \cdot 10^{-6}, 1/\text{год.}$	Коефіцієнт навантаження K_{Hi}	Поправочний коефіцієнт h_i	a_i
1.	Кварцевий резонатор	HC49-16МГц	1	0,01	0,1	0,5	1,05
	Конденсатор	K70-6-35-22	2	0,02	0,4	3	2,2
		K70-6-35-0.1	1	0,01	0,25	3	1,75
	Мікросхема	sn74198n	1	2	0,1	0,5	1,05
		MAX485	2	2	0,2	0,5	1,1
		ATmega164	1	2	0,8	0,5	1,4
	Резистор	C4-0,25-1	2	0,015	0,01	1,4	1,014
		C4-0,25-750	4	0,02	0,02	1,2	1,024
		C4-0,25-470	5	0,018	0,01	1,7	1,017
	Роз'єм	IDC-20MS	1	0,005	0,27	--	1
		2,5 MSFW/O 03	3	0,005	0,27	--	1
		IDC-16MS	1	0,005	0,27	--	1
		2,5 MSFW/O 08	1	0,005	0,27	--	1
6.	Транзистор	BC558	4	1	0,14	0,5	1,07

У результаті проведених розрахунків одержуємо наступні результати:

Інтенсивність відмов системи складає:

$$\lambda_{сист} = 4,557086 \cdot 10^{-5} \cdot u^{-1} \cdot$$

(12.8)

Час наробітку на відмову складає:

$$T = \frac{1}{\lambda_{сист}} = 21943,847 \text{ ч.}$$

(12.9)

Час наробітку на відмову пристрою складає приблизно 22 тисячі годин, що становить близько трьох років безперервної роботи.

Висновок

При написанні дипломного проекту був розглянутий процес виробництва паливних гранул – пелет, вивчені стан і якість сировини, якою забезпечується виробництво, та вимоги до готової продукції. Були розглянуті параметри технологічного процесу, що вимагають ретельного контролю. На основі аналізу цих даних були розроблені вимоги до системи автоматизації.

На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва була спроектована структурна схема автоматизованої системи лінії виробництва та функціональні схеми автоматизації підсистем управління окремих ділянок виробництва, а саме: ділянки сушіння, гранулювання та затарювання. Дослідивши ділянку сушіння та технологічний процес сушіння, був розроблений блок керування підсистеми управління процесом сушіння.

Проведено дослідження стійкості системи автоматичного управління підтримання заданого режиму температури в охолоджуючій камері та проведені розрахунки для дослідження часу роботи на відмову плати блоку керування підсистеми управління процесу сушіння із використанням паспортних даних окремих елементів монтажу плати.

Розроблено оптимальну структуру лінії виробництва паливних гранул та підсистем управління окремими виробничими ділянками лінії. Спроектувавши блок керування підсистемою управління процесом сушіння було досягнуто мету – автоматизувати процес виробництва паливних гранул.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Современные датчики / Дж.Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592с.
2. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / Ключев А.С. – М., Энергия, 1980, 512 с.
3. Теорія автоматичного керування : Підручник . – 2–ге вид., перероб. і доп. / Попович М.Г., Ковальчук О.В. – К.: Либідь, 2007. – 656с.
4. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність / Н. Б. Репнікова – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 328 с.
5. Теория автоматического управления / В. Я. Ротач – М.: МЭИ, 2008. – 396 с.
6. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский – СПб.: "Профессия", 2003. – 752 с.
7. 8-bit microcontroller with 2K Bytes Flash [Электронный ресурс] <http://www.atmel.com/images/doc0368.pdf>
8. Расчёт показателей надёжности для радиоэлектронных средств / С. М. Боровиков, Ф. Д. Троян– Минск БГУиР, 2010. – 68 с.
9. Головки Д.Б. та ін. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: Підручник. – К.: Либідь, 1977
10. Гомонай М.В. Древесное биотопливо (брикеты и гранулы). – М., 2007. – 90 с.
11. Под ред. Ключева А.С. Настройка средств автоматизации и автоматических систем, справочное пособие, 2-е изд., М.; Энергоатомиздат, 1989.
12. Буртоликова З.Л. Александров И.А., Автоматика, автоматизация и АСУТП, Альбом структурно-логических схем к рабочей программе. М: ВЗПИ, 1988, Часть 2.
13. Голубятников В.А., Шувалов В.В., Автоматизация производственных процессов. 2-е изд. М.: Химия, 1985.
14. Гольцман В.А. Приборы контроля и автоматики тепловых процессов. – М.: Высшая школа, 1976. – 240с.

[illegible]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп	Дата	<div> <div>ІТБ 41-1505-16-006</div> <div> <div>Літер.</div> <div>Аркуш</div> <div>Аркуші</div> </div> </div>
Розроб	Красіков				
Перевір	Яланецький				
Н. кор.					
Затверд					

[illegible]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

		№ докум.		<i>Дат</i>					
Розр		Красіков				Літер.		<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
Пере		Яланецький						1	1
Н.ко									
Затв.									